



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

NÁVRH EKOLOGICKÉHO VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU

DESIGN OF ECOLOGICAL HEATING OF A FAMILY HOUSE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Vladimír Kořínek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kristýna Jandová, Ph.D.

BRNO 2019

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektrotechnická výroba a materiálové inženýrství**

Ústav elektrotechnologie

Student: Bc. Vladimír Kořínek

ID: 164861

Ročník: 2

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Návrh ekologického vytápění rodinného domu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s principem tepelných čerpadel a jejich použitím v rodinných domech. Zjistěte možnosti spolupráce s alternativním systémem ohřevu. Vypočítejte tepelné ztráty a potřebu tepla pro vytápění konkrétního objektu. Provedte návrh systému s tepelným čerpadlem v různých variantách. Pro jednu z variant uvažujte kooperaci s fotovoltaickým systémem. Vypočítejte ekonomickou návratnost.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucí práce.

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 21.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Kristýna Jandová, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem ekologického vytápění pro rodinný dům. Hlavním cílem je nalézt nejvýhodnější variantu systému vytápění a ohřevu teplé vody za pomoci tepelného čerpadla v kooperaci s alternativním systémem ohřevu. Pro vybraný objekt jsou vypočteny tepelné ztráty a na základě toho je zhotoveno několik návrhů vytápění. Následně je vypočtena ekonomická návratnost zhotovených návrhů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Tepelné čerpadlo, fotovoltaické systémy, vytápění domu, ekologie

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the design of ecological heating for a family house. The main objective is to find the most advantageous variant of the heating and water heating system using a heat pump in cooperation with an alternative heating system. Thermal losses are calculated for the selected object, and several heating designs are made based on the calculations. Then the economic return of the designs is calculated.

KEYWORDS

Heat pump, fotovoltaic systems, house heating, ecology

KOŘÍNEK, V. *Návrh ekologického vytápění rodinného domu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2019. 129 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Kristýna Jandová, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma Návrh ekologického vytápění rodinného domu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucí diplomové práce Ing. Kristýně Jandové, Ph.D., za účinnou, metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování moji diplomové práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	x
Seznam tabulek	xiii
Úvod	1
1 Tepelná čerpadla	2
1.1 Princip funkce tepelného čerpadla	2
1.2 Prvky tepelného čerpadla.....	3
1.2.1 Výparník	4
1.2.2 Kompresor	5
1.2.3 Kondenzátor.....	7
1.2.4 Expanzní ventil	8
1.2.5 Ostatní prvky tepelného čerpadla	9
1.2.5.1 Akumulační nádrž	9
1.2.5.2 Regulace TČ.....	10
1.3 Parametry tepelných čerpadel	11
1.4 Pracovní cyklus tepelného čerpadla.....	13
1.5 Provozní režimy tepelného čerpadla.....	14
1.5.1 Monovalentní režim tepelného čerpadla	16
1.5.2 Alternativně bivalentní režim tepelného čerpadla	16
1.5.3 Paralelně bivalentní režim tepelného čerpadla	16
1.5.4 Částečně paralelně bivalentní režim tepelného čerpadla	16
1.6 Typy tepelných čerpadel.....	17
1.6.1 Tepelné čerpadlo vzduch/voda	17
1.6.2 Tepelné čerpadlo voda/voda	19
1.6.2.1 Tepelné čerpadlo voda/voda – zdroj podzemní voda.....	20
1.6.2.2 Tepelné čerpadlo voda/voda – zdroj povrchová voda.....	22
1.6.3 Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch.....	23
1.6.3.1 Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch – využití odpadního vzduchu	24
1.6.4 Tepelné čerpadlo země/voda	24
1.6.4.1 Tepelné čerpadlo země/voda – zemní plošný kolektor	25
1.6.4.2 Tepelné čerpadlo země/voda – geotermální vrty	28

1.6.4.3	Tepelné čerpadlo země/voda – energetické piloty	29
2	Systémy pro kooperaci s tepelným čerpadlem	31
2.1	Solární kolektory.....	31
2.1.1	Montáž solárních kolektorů	33
2.1.2	Ploché solární kolektory	34
2.1.3	Ploché vakuové solární kolektory	35
2.1.4	Trubicové solární kolektory heat - pipe	36
2.1.5	Trubicové solární kolektory U – pipe	38
2.1.6	Kooperace solárních kolektorů s tepelným čerpadlem	39
2.1.6.1	Paralelní zapojení TČ a solárních kolektorů	40
2.1.6.2	Sériové zapojení TČ a solárních kolektorů	40
2.1.6.3	Sério – paralelní zapojení tepelného čerpadla se solárními kolektory ..	41
2.2	Fotovoltaické elektrárny	43
2.2.1	FV články.....	43
2.2.1.1	Materiál pro výrobu FV článků	44
2.2.2	FV panely.....	45
2.2.3	Základní prvky FV elektrárny.....	46
2.2.3.1	Akumulátory.....	46
2.2.3.2	Regulátory nabíjení	46
2.2.3.3	Střídač.....	46
2.2.3.4	Ostatní prvky FV elektráren	47
2.2.3.5	Umístění FV panelů	47
2.2.4	Kooperace FV systému s tepelným čerpadlem.....	47
2.2.4.1	FV panely pro elektrické ohřívače vody	48
2.2.4.2	FV panely pro napájení tepelného čerpadla	48
3	Praktická část	50
3.1	Popis rodinného domu	50
3.1.1	Dispoziční rozdělení	51
3.2	Konstrukční a materiálové řešení objektu	51
3.2.1	Svislé konstrukce	52
3.2.2	Vodorovné konstrukce	52
3.3	Klimatické podmínky místa stavby	53
4	Výpočet tepelných ztrát	54

4.1	Přehled základních údajů pro výpočet	55
4.2	Výpočet součinitele prostupu tepla stavební konstrukcí.....	57
4.3	Výpočet tepelných ztrát prostupem	59
4.3.1	Tepelné ztráty do venkovního prostředí	59
4.3.2	Tepelné ztráty nevytápěným prostorem.....	61
4.3.3	Tepelné ztráty do přilehlé zeminy	62
4.3.4	Tepelné ztráty do nebo z prostorů vytápěných na rozdílné teploty	63
4.3.5	Celkový součinitel tepelné ztráty prostupem – místnost 106	64
4.4	Tepelné ztráty větráním	65
4.4.1	Součinitel tepelné ztráty větráním	65
4.4.2	Infiltrace obvodovým pláštěm budovy	65
4.4.3	Hygienické množství vzduchu	66
4.4.4	Výpočet tepelných ztrát přirozeným větráním.....	66
4.5	Zátopový tepelný výkon	67
4.6	Celková tepelná ztráta objektu.....	67
5	Současný zdroj vytápění	69
5.1	Elektrokotel THERM EL9 + zásobník TUV	69
6	Alternativní zdroje vytápění	73
6.1	Tepelné čerpadlo vzduch/voda NEORÉ 8TG TX	73
6.1.1	Technické parametry vnitřní jednotky	75
6.1.2	Technické parametry venkovní jednotky.....	76
6.1.3	Montáž, umístění a servis	76
6.1.4	Shrnutí a náklady NEORÉ 8TG TX	77
6.2	Tepelné čerpadlo země/voda	79
6.2.1	Vnitřní jednotka NIBE F1245/6	79
6.2.2	Plošný zemní kolektor	81
6.2.3	Montáž, umístění a servis	83
6.2.4	Shrnutí a náklady NIBE F1245/6.....	83
6.3	Tepelné čerpadlo NIBE F1245/6 + Solární předehřev užitkové vody....	85
6.3.1	Zapojení solárního předehřevu TUV s tepelným čerpadlem	85
6.3.2	Plochý solární kolektor SOL 27	86
6.3.3	Kompaktní solární regulace SOKI 6 plus	86
6.3.4	Solární zásobník 300 l.....	87

6.3.5	Shrnutí a náklady solárního přehřevu užitkové vody.....	88
6.4	Tepelné čerpadlo NEORÉ 8TG TX + fotovoltaická elektrárna	90
6.4.1	FV panely TRINA 295 TSM	91
6.4.2	Měnič (střídač) Solar Edge 3000H	92
6.4.3	Akumulátor LG Chem	93
6.4.4	Shrnutí a náklady FV elektrárny	94
7	Energetické zhodnocení	95
7.1	Spotřeba objektu pro vytápění a ohřev TUV	95
7.2	NEORÉ 8TG TX	96
7.3	NIBE F1245/6.....	96
7.4	NIBE F1245/6 + solární přehřev TUV	97
7.5	NEORÉ 8TG TX + FV elektrárna 3,54 kWp	99
8	Ekonomické Zhodnocení	101
8.1	Shrnutí pořizovacích nákladů	101
8.2	Roční cena za elektrickou energii.....	102
8.3	Dotace	103
8.4	Ekonomické zhodnocení.....	104
9	Závěr	107
	Literatura	110
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	114

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 Blokové schéma funkce tepelného čerpadla [5].....	2
Obrázek 1.2 Základní prvky tepelného čerpadla [8].....	4
Obrázek 1.3 Průřez pístovým kompresorem [8].....	5
Obrázek 1.4 Průřez rotačním spirálovým kompresorem [8].....	6
Obrázek 1.5 Letovaný deskový kondenzátor [8]	7
Obrázek 1.6 Expanzní ventil s termostatickým řízením [8]	8
Obrázek 1.7 Umístění tykavky [1].....	9
Obrázek 1.8 Obrazovka regulace tepelného čerpadla [12].....	10
Obrázek 1.9 Ideální Carnotův cyklus [13].....	13
Obrázek 1.10 Křivky provozních režimů TČ [16].....	15
Obrázek 1.11 Tepelné čerpadlo vzduch/voda - vnitřní a vnější jednotka [19]	18
Obrázek 1.12 Kompaktní tepelné čerpadlo ve vnitřním a venkovním provedení [20]...	18
Obrázek 1.13 Tepelné čerpadlo voda/voda s odebírací a vsakovací studnou [22]	20
Obrázek 1.14 Realizace TČ voda/voda s položením PE hadic na dno vodního toku [26]	22
Obrázek 1.15 Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch s rozvody v rodinném domě [27]	23
Obrázek 1.16 Tepelné čerpadlo země/voda - umístění v objektu [30]	25
Obrázek 1.17 Horizontální plošný kolektor [31]	26
Obrázek 1.18 Horizontální výkopový kolektor [32].....	27
Obrázek 1.19 Konstrukce geotermálního vrtu s vloženým výměníkem [4]	28
Obrázek 1.20 Umístění energetických pilot pod objektem [35].....	30
Obrázek 2.1 Zapojení solárního kolektoru [36].....	31
Obrázek 2.2 Rozdělení solárních kolektorů [39]	32
Obrázek 2.3 Umístění solárních kolektorů [37].....	33
Obrázek 2.4 Plochý deskový solární kolektor [40].....	34
Obrázek 2.5 Plochý deskový vakuový solární kolektor [40].....	35
Obrázek 2.6 Trubicový vakuvý solární kolektor heat-pipe [42].....	37
Obrázek 2.7 Trubicový solární kolektory U – pipe [40].....	38
Obrázek 2.8 Paralelní zapojení tepelného čerpadla a solárního kolektoru [44]	40
Obrázek 2.9 Sériové zapojení tepelného čerpadla a solárního kolektoru [44]	41

Obrázek 2.10 Sério - paralelní zapojení tepelného čerpadla a solárního kolektoru [44]....	42
Obrázek 2.11 Fotovoltaický článek [47].....	43
Obrázek 2.12 Výroba polykrystalického a monokrystalického FV článku [49]	44
Obrázek 2.13 Konstrukce FV panelu [50]	45
Obrázek 2.14 Zapojení FV panelů pro ohřev vody [51]	48
Obrázek 2.15 Zapojení FV elektrárny pro tepelné čerpadlo [52]	49
Obrázek 3.1 Rodinný dům pro návrh ekologického vytápění	50
Obrázek 3.2 Řez domu A-A	52
Obrázek 4.1 Výpočet tepelných ztrát podle normy ČSN EN 12831 [55].....	54
Obrázek 5.1 Elektrokotel THERM EL9	69
Obrázek 5.2 Zásobník vody OKH 125 NTR/HV.....	71
Obrázek 6.1 Vnitřní jednotka TČ NEORÉ 8TG TX	73
Obrázek 6.2 Venkovní jednotka TOSHIBA pro TČ NEORÉ 8TG TX.....	74
Obrázek 6.3 Rozmístění komponentů vnitřní jednotky NEORÉ 8TG TX.....	75
Obrázek 6.4 Tepelné čerpadlo NIBE F1245/6.....	79
Obrázek 6.5 Schéma vnitřního zapojení tepelného čerpadla NIBE F1245/6	80
Obrázek 6.6 Přehled technických parametrů potrubí PE100 RC STRONG EXTRA	81
Obrázek 6.7 Rozmístění plošného kolektoru na pozemku	82
Obrázek 6.8 Řez výkopem zemního kolektoru.....	83
Obrázek 6.9 Schéma zapojení solárního předeřevu s tepelným čerpadlem.....	85
Obrázek 6.10 Kompaktní solární regulace SOKI 6 plus	87
Obrázek 6.11 Solární zásobník TUV OKC 300 NTP/HP.....	88
Obrázek 6.12 Schéma zapojení FV elektrárny	90
Obrázek 6.13 Rozmístění FV panelů na jižní část střechy domu	91
Obrázek 6.14 Měnič Solar Edge 3000H	92
Obrázek 6.15 Akumulátor LG Chem RESU 7.....	93
Obrázek 7.1 Celoroční přehled energie ze solárních kolektorů a spotřeby TUV	98
Obrázek 7.2 Průměrná produkce elektřiny z FV elektrárny za jeden měsíc.....	100
Obrázek 8.1 Grafické zobrazení pořizovacích nákladů zdrojů vytápění	101
Obrázek 8.2 Grafické zobrazení roční spotřebované elektřiny pro jednotlivé zdroje vytápění.....	103
Obrázek 8.3 Náklady na vytápění včetně pořizovací ceny - bez dotací	105
Obrázek 8.4 Náklady na vytápění včetně pořizovací ceny - s dotací	106

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1	Přehled výkonu TČ v závislosti na druhu podloží.....	29
Tabulka 3.1	Rozdělení místností.	51
Tabulka 3.2	Klimatické podmínky - oblast Brno venkov.....	53
Tabulka 4.1	Základní klimatické údaje objektu pro výpočet tepelných ztrát.....	55
Tabulka 4.2	Součinitelé tepelné vodivosti stavebních materiálů.....	56
Tabulka 4.3	Tepelný odpor při přestupu tepla (mezi vzduchem a stavební částí).....	56
Tabulka 4.4	Výpočet součinitele prostupu tepla U konkrétní stavební součásti.	58
Tabulka 4.5	Vypočítané součinitele prostupu tepla pro všechny stavební součásti.	58
Tabulka 4.6	Součinitele prostupu tepla dané výrobcem.	58
Tabulka 4.7	Vzorový výpočet ztrát do venkovního prostředí pro místnost 106.....	60
Tabulka 4.8	Tepelné ztráty přes nevytápěné prostory pro místnost 106.	61
Tabulka 4.9	Tepelné ztráty do zeminy pro místnost 106.....	63
Tabulka 4.10	Tepelné ztráty do místností s rozdílnou teplotou - místnost 106.....	64
Tabulka 4.11	Celková tepelná ztráta prostupem pro místnost 106.....	64
Tabulka 4.12	Výpočet tepelné ztráty větráním - všechny místnosti objektu.....	66
Tabulka 4.13	Celková tepelná ztráta domu.	68
Tabulka 6.1	Technické údaje vnitřní jednotka NEORÉ 8TG TX.....	75
Tabulka 6.2	Technické parametry venkovní jednotky TOSHIBA.	76
Tabulka 6.3	Technické údaje - Tepelné čerpadlo NEORÉ 8TG TX.....	77
Tabulka 6.4	Pořizovací náklady Tepelné čerpadlo NEORÉ 8TG TX.....	78
Tabulka 6.5	Technické údaje - Vnitřní jednotka NIBE F1245/6.....	81
Tabulka 6.6	Technické údaje - TČ NIBE F1245/6.....	84
Tabulka 6.7	Pořizovací náklady tepelné čerpadlo NIBE F1245/6.....	84
Tabulka 6.8	Technické údaje solárního kolektoru SOL 27 Premium S.	86
Tabulka 6.9	Technické parametry Solární regulace SOKI 6 plus.	87
Tabulka 6.10	Technické údaje - Solární nádrž OKC 300 NTR/HP.....	87
Tabulka 6.11	Pořizovací náklady - Solární předehřev vody.....	89
Tabulka 6.12	Mechanické parametry FV panelu Trian 295 TSM.....	91
Tabulka 6.13	Elektrické parametry FV panel Trian 295 TSM.....	92
Tabulka 6.14	Elektrické parametry - měnič Solar Edge 3000H.....	93
Tabulka 6.15	Pořizovací náklady - FV elektrárna.	94

Tabulka 7.1 Roční spotřeba energie pro daný objekt.	95
Tabulka 7.2 Roční spotřeba elektrické energie a SCOP - NEORÉ 8TG TX.....	96
Tabulka 7.3 Roční spotřeba elektrické energie a SCOP - NIBE F1245/6.	97
Tabulka 7.4 Přehled energetických zisků se solárních kolektorů.	98
Tabulka 7.5 Přehled ročního zisku FV elektrárny 3,54 kWp.	99
Tabulka 8.1 Pořizovací náklady jednotlivých zdrojů vytápění.....	101
Tabulka 8.2 Cena za roční elektrickou energii spotřebovanou pro vytápění a ohřev TUV.	102
Tabulka 8.3 Přehled dotací pro zdroje vytápění použité v této práci.....	103
Tabulka 8.4 Ekonomické zhodnocení návrhů.....	104

ÚVOD

Současná situace ohledně ekologie na Zemi vyžaduje stále větší pozornost. Naše planeta je čím dál více znečišťována, a to z několika důvodů: rapidní nárůst vozidel, rozšířený těžební průmysl, rozšiřování průmyslových zón, velké množství dopravních letadel a lodí, topením fosilními palivy a mnoho dalších důvodů. Důsledkem tohoto děje je globální oteplování. Aby se zpomalilo znečišťování planety a zlepšila se i situace ohledně globálního oteplování, tak vznikly směrnice a normy, které limitují maximální míru znečištění způsobené danými výrobky a jejich provozem. Například byla zavedena ekologická daň za znečištění vzduchu, vody a zatížení půdy. Touto daní se má docílit, aby lidé více šetřili životní prostředí.

Lidé jsou stále více nuceni používat ekologické zdroje energie, nejen kvůli znečišťování životního prostředí, ale také kvůli rapidnímu nárůstu cen za energii. Celosvětová spotřeba energie roste a obchodování na burze s energiemi stále vyhání ceny za uhlí, topný olej, zemní plyn a elektřinu. To má dopad na celkové zdražení vytápění domů a ohřevu teplé vody. Lidé se proto snaží ekonomicky a ekologicky inovovat své staré systémy vytápění a ohřevu vody. Stát podporuje lidi různými dotačními programy, kterými se urychlí ekonomická návratnost při inovaci jak už starého systému vytápění, tak při projektování nového systému vytápění v novostavbě. Dotační programy jsou poskytovány pro plynové kondenzační kotle, kotle na biomasu, krbová kamna s teplovodním výměníkem a hlavně pro stále více oblíbená tepelná čerpadla.

Tepelná čerpadla se řadí mezi obnovitelné zdroje energie. Fungují na stejném principu jako chladnička, mraznička nebo klimatizace. Jsou ale mnohem šetrnější k životnímu prostředí, protože vykazují skoro nulové emise. Odnímají nízkopotenciální teplo z okolního prostředí (ze vzduchu, vody, země), které se převede na teplo s dostatečným tepelným potenciálem a je použito pro vytápění a ohřev vody.

Po tepelných čerpadlech se zvyšuje poptávka a má je doma stále více domácností. Statisticky každá desátá novostavba obsahuje tepelné čerpadlo. Tepelné čerpadlo využívá pro svůj chod elektrickou energii. Pro energetickou nenáročnost tepelného čerpadla se využívá kooperace s fotovoltaickou elektrárnou. Navíc pro ještě lepší účinnost celého topného systému může být využito nainstalování solárních kolektorů, které ohřívají vodu nezávisle na tepelném čerpadle. Solární kolektory umožní za slunečního počasí nahlát zásobník vody a tepelné čerpadlo nemusí být v provozu celý den, čímž se prodlužuje životnost tepelného čerpadla. Celý systém musí být odborně naprojektován a seřízen, aby byla účinnost co nejvyšší a co nejrychlejší ekonomická návratnost finanční investice do celého projektu ekologického vytápění domu.

Tato diplomová práce je rozdělena do několika částí. První část se zabývá teorií k tepelným čerpadlům, fotovoltaickým elektrárnám a solárním kolektorům. V druhé části je vybrán objekt pro realizaci projektu (dům), na kterém jsou vypočteny tepelné ztráty. V třetí části jsou na základě výpočtu tepelných ztrát navrženy různé varianty vytápění pomocí tepelného čerpadla v kooperaci s alternativními systémy ohřevu (fotovoltaické elektrárny a solární kolektory). V poslední části je vypočtena ekonomická návratnost a účinnost všech variant vytápění.

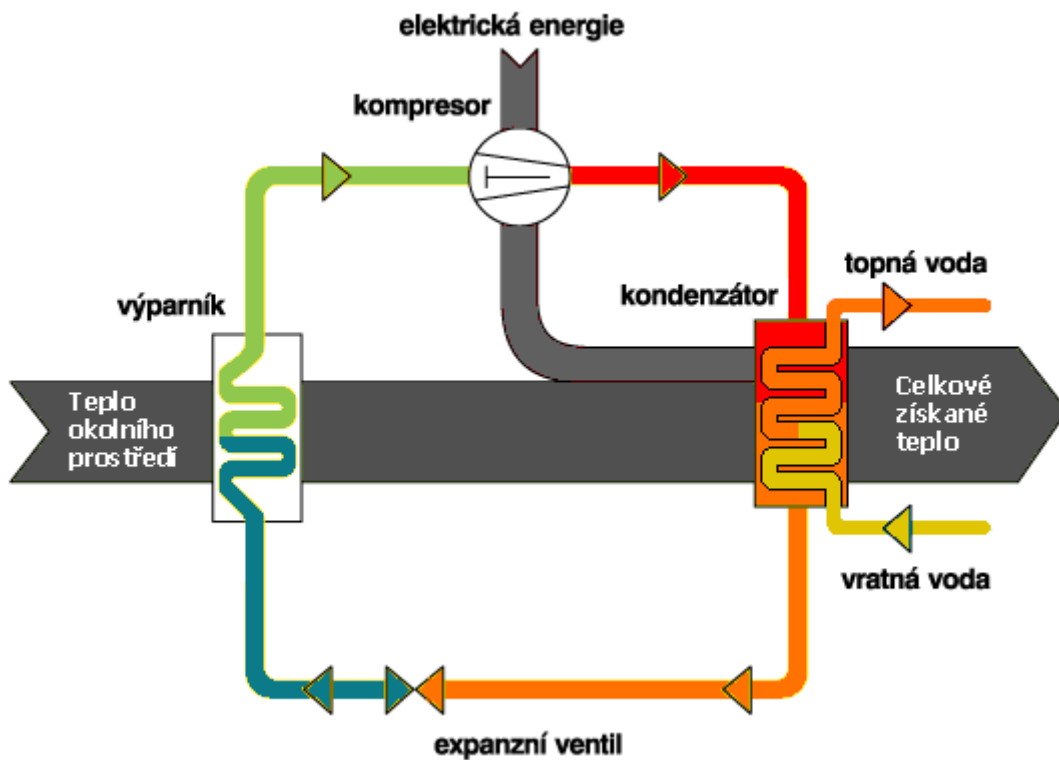
1 TEPELNÁ ČERPADLA

Tato kapitola se zabývá teorií o tepelných čerpadlech. Je zde popsána funkce, parametry, základní rozdělení a použití tepelných čerpadel.

Tepelné čerpadlo se řadí mezi alternativní zdroje obnovitelné energie. Využívá nízkopotenciální teplo, které odebírá ze země, vzduchu a vody. Za pomoci vnějšího zdroje energie je toto teplo efektivně převedeno na vyšší teplotní hladinu a uvolněné teplo je použito pro ohřev vody. [2]

1.1 Princip funkce tepelného čerpadla

Zjednodušeně můžeme přirovnat tepelné čerpadlo k principu funkce ledničky, ale s jinými technickými vlastnostmi. Lednička odebírá teplo ze svého skladového prostoru pro potraviny a toto přebytekové teplo předá bez využití do místnosti, kde se lednička nachází. Tepelné čerpadlo odebírá teplo z okolního prostředí (vzduch, voda, země) za pomoci nemrznoucí kapaliny, vzduchu nebo vody. Nízkopotenciální teplo je pak převedeno na výstupní teplotu 30°C až 65°C za pomoci částí tepelného čerpadla, které jsou popsány pod obrázkem 1.1.



Obrázek 1.1 Blokové schéma funkce tepelného čerpadla [5]

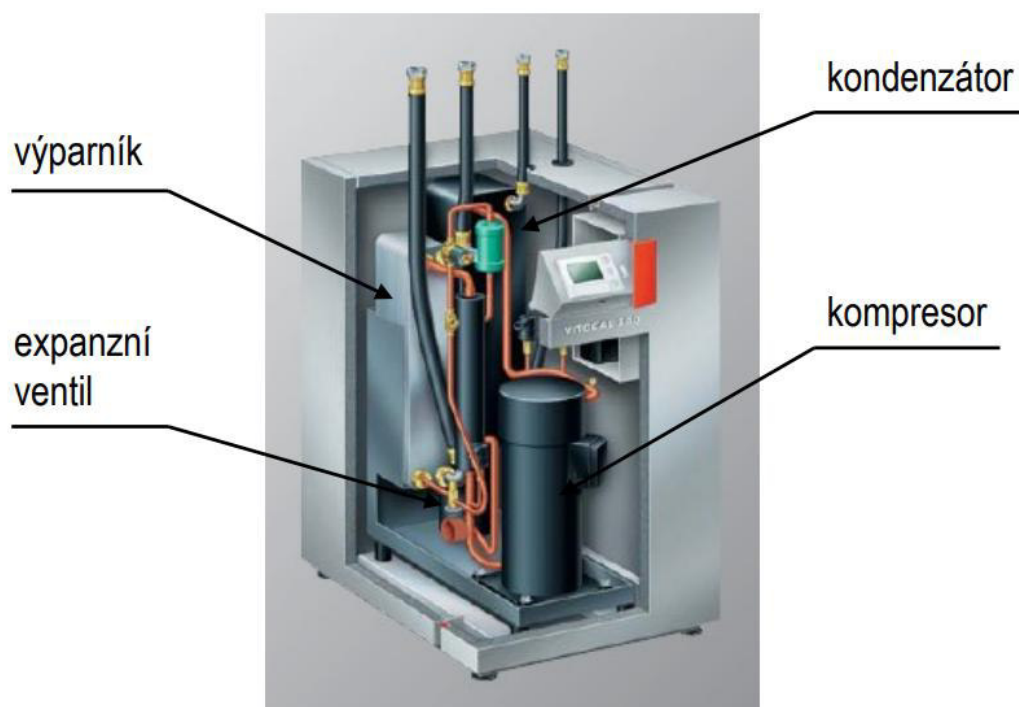
Na obrázku 1.1 je blokové schéma tepelného čerpadla, které se skládá z výparníku, kompresoru, kondenzátoru a expanzního ventilu. Všechny tyto části jsou podrobně popsány v kapitole 1.2. Vstupní veličina blokového schématu tepelného čerpadla je teplo okolního prostředí. Výstupní veličina je celkové získané teplo (topná voda), která je využívána pro bojler, radiátory, bazén a jiné potřeby.

Do výparníku tepelného čerpadla je pomocí potrubí přiváděna kapalina (nemrznoucí látka, vzduch, voda), která je ohřívána nízkopotenciálním teplem (z vody, ze vzduchu, ze země). Jedná se o primární okruh tepelného čerpadla. Pro tepelné čerpadlo vzduch - voda je primární okruh zaměřen ventilací venkovní jednotkou, která přivádí venkovní vzduch. Ve výparníku je teplo předáno chladivu, které koluje ve vnitřním oběhu tepelného čerpadla. Termostatický expanzní ventil vstřikuje pod velkým tlakem chladivo do výparníku a díky nízkému tlaku za tímto ventilem se chladivo rychle odpařuje. Výparník se tím podchladí na nižší teplotu než je teplota prostředí, ze kterého je teplo odebíráno. Tím je umožněno, že nízkopotenciální teplo ohřívá podchlazený plyn. Plyn má sice vyšší teplotu a není podchlazený, ale stále je studený. Tento studený plyn je odebírán kompresorem, kde je prudce stlačen. Odebraný plyn v kompresoru si nese svou získanou energii. Prudkým stlačením studeného plynu v kompresoru se tento plyn zahřeje na vysokou teplotu přibližně okolo 80°C. Tento děj se uskuteční díky fyzikálnímu principu komprese, kde při vyšším tlaku stoupá teplota plynu. K zahřátému plynu z kompresoru se navíc připočítává ztrátové teplo z elektromotoru kompresoru a teplo vzniklé třením jeho pohyblivých ploch. Stlačený plyn, který vychází z kompresoru, má vyšší teplotu než voda v topném systému. Topný systém je označován jako sekundární okruh tepelného čerpadla. Horký plyn proudí do sekundárního výměníku, který nazýváme kondenzátor. Kondenzátorem jsou vedeny i trubky, kterými proudí topná voda. Horký plyn v kondenzátoru zkapalní a tím předává teplo topné vodě, která je využita pro zásobník teplé vody, ohřev bazénu, nebo pro vytápění celého domu. Zkondenzovaná kapalina je vedena zpět do expanzního ventilu, přes který se znovu pod velkým tlakem vstřikuje do výparníku, kde se chladicí kapalina odpařuje, a stane se z ní plyn. Celý tento cyklus tepelného čerpadla se pořád opakuje a tím přečerpává nízkopotenciální teplo z okolního prostředí do topné soustavy domu.[3;4;6]

1.2 Prvky tepelného čerpadla

Mezi základní prvky tepelného čerpadla patří:

- Výparník
- Kompresor
- Kondenzátor
- Expanzní ventil



Obrázek 1.2 Základní prvky tepelného čerpadla [8]

Příklad uspořádání základních prvků je zobrazen na obrázku 1.2. Toto upořádání se může lišit podle použitého typu TČ.

1.2.1 Výparník

Předává odebrané nízkopotenciální teplo danému oběhovému chladivu. Jako chladivo jsou používány látky s nízkou teplotou varu. Používají se například fluorované uhlovodíky, do kterých patří chladiva R134a, R152a, R143a, R407C, R404A a mnoho dalších. Vypařování chladiva probíhá za nízkého tlaku při nižší teplotě než je výstupní teplota teplotnosné látky. Na výstupu výparníku je chladivo v plynné fázi a pokračuje dál do kompresoru.

Ochlazování teplotnosné látky se liší podle typu tepelného čerpadla.

- TČ země/voda (ochlazování nemrznoucí směsi)
- TČ voda/voda (ochlazování vody)
- TČ vzduch/voda (ochlazování vzduchu)

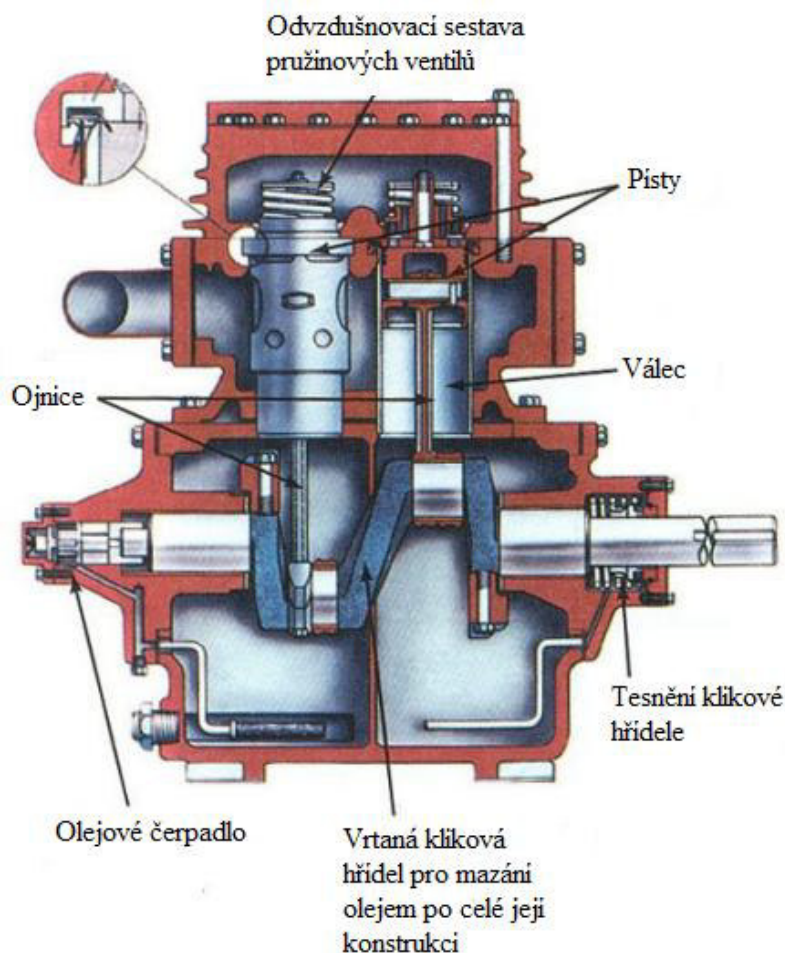
Další rozdělení je podle chlazení kapaliny, nebo vzduchu. Pro chlazení kapaliny se používá letovaný deskový výměník. Pro ochlazování vzduchu se používá trubkový žebrový výměník.

Hlavním parametrem u všech výparníků je vstupní teplotní spád. Jedná se o rozdíl mezi vstupní teplotou ochlazované látky a vypařovací teplotou. Jednotka se uvádí v kelvinech. [7; 8]

1.2.2 Kompresor

Je nejdůležitější jednotkou TČ, protože zajišťuje oběh chladiva v celém primárním okruhu TČ. Nemusí být použito oběhové čerpadlo. Kompresor nasává plynné odpařené chladivo z výparníku při tlaku, který odpovídá výparné teplotě chladiva. Následně toto odpařené chladivo stlačí na požadovaný tlak odpovídající kondenzační teplotě v kondenzátoru. Nejčastěji je kompresor poháněn elektrickou energií, která se po odečtení ztrát uloží v chladicím médiu. Aby chladivo neuniklo do atmosféry přes spojovací těsnění, tak je kompresor s elektromotorem uzavřen v hermetické tlakové nádobě. Pro velká zařízení se používají i oddělené provedení kompresoru a elektromotoru. Hřídel je v kompresorové skříni těsněna ucpávkou. V tomto provedení se tepelné ztráty nepřičítají k oběhu chladiva. V tepelných čerpadlech se používají pístové kompresory, rotační spirálové kompresory (scroll) a rotačním kompresorem.

Pístový kompresor je jeden z nejstarších typů, které se používaly v TČ. Jsou levné, ale za to jsou hlučné a mají horší topný faktor. Jejich životnost se odhaduje okolo 15 let. Princip pístového kompresoru: Probíhá změna objemu plynu ve válci za pomoci pohybu pístu. Při pohybu pístu dolů se nasává plyn a při pohybu pístu nahoru se plyn stlačí a následně vytlačí ventilem ven z válce. Účinnost se pohybuje přibližně okolo 70 %.

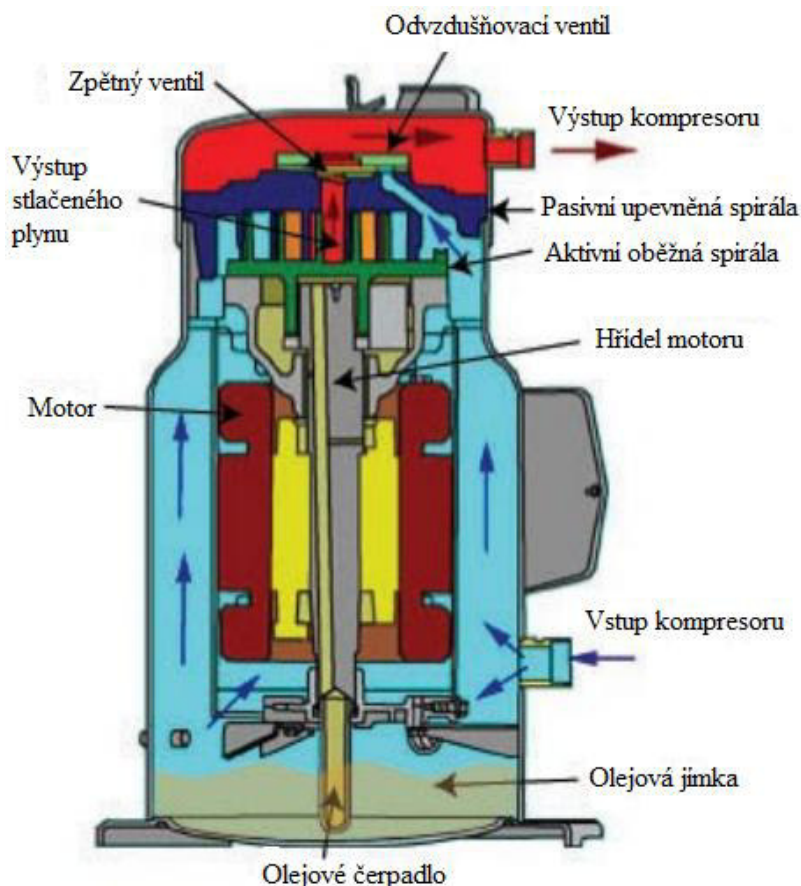


Obrázek 1.3 Průřez pístovým kompresorem [8]

Na obrázku 1.3 je průřez pístovým kompresorem včetně popisků jeho základních částí.

Rotační kompresor patří k levnějším typům kompresorů. Jeho topný faktor je srovnatelný s pístovým kompresorem. Životnost se odhaduje také okolo 15 let. Princip rotačního kompresoru: Píst je zhotoven jako válcové těleso, které se pohybuje okolo vnitřního obvodu válcové komory. Sací a výtlačná část komory je oddělena pohyblivou přepážkou. Účinnost je menší než u pístového kompresoru.

Rotační spirálový kompresor (scroll) je v současnosti nejlepší a nejpoužívanější typ kompresoru pro TČ. Patří k těm nejdražším kompresorům, ale jeho topný faktor dosahuje nejlepších výsledků. Princip rotačního kompresoru: Skládá se ze dvou spirál, kdy jedna spirála je umístěna napevno a druhá spirála je pohyblivá. Pohyblivá spirála se pohybuje ve spirále, která je umístěna napevno. Když se mezi sebou spirály pohybují, tak vytváří plynové kapsy. Čím více se dostávají plynové kapsy ke středu, tím jsou více stlačeny a mají zvýšený tlak i teplotu na požadovanou výstupní hodnotu. Pracovní cyklus nasávání, stlačování a výtlač plyného chladiva je realizován pohybem spirál mezi sebou. Sání je na obvodu a výtlač se nachází ve středu spirály. Je tam mnohem menší množství pohybujících se částí než u ostatních kompresorů. Tím je zaručena vyšší životnost, spolehlivost, menší vibrace a nižší hlučnost. Z výše uvedených kompresorů má právě rotační spirálový kompresor nejlepší topný faktor a nejvyšší účinnost. Jeho provedení je na obrázku 1.4.



Obrázek 1.4 Průřez rotačním spirálovým kompresorem [8]

Na obrázku 1.4 je zobrazen průřez rotačního spirálového kompresoru včetně popisu jeho základních částí.

Požadavky na všechny typy kompresorů v tepelných čerpadlech:

- provozní spolehlivost
- minimální údržba
- nízká hlučnost
- dlouhodobá životnost
- bezproblémová funkce v požadovaném rozsahu tlaků a teplot

Kompresory jsou většinou poháněny elektrickým motorem, ale lze ho pohánět i motorem na zemní plyn, nebo naftu. Výjimkou je jen absorpční tepelné čerpadlo, kde je kompresor nahrazen absorbérem a uspořádání prvků je jiné. [7; 8; 9; 10]

1.2.3 Kondenzátor

Chladicí médium předává v kondenzátoru teplo do otopné soustavy. Chladivo kondenzuje za vysokého tlaku při vyšší teplotě než je výstupní teplota teplotonosné látky a tím může předat teplo do teplotonosné látky. Jako teplotonosná látka pro běžná TČ je použita otopná voda, pro TČ ohříváče je použita teplá voda. Stejně jako u výparníku je kondenzátor zhotoven jako letovaný deskový výměník, nebo trubkový žebrový výměník, který se nachází uvnitř zásobníku.



Obrázek 1.5 Letovaný deskový kondenzátor [8]

Na obrázku 1.5 je letovaný deskový výměník. Desky jsou uspořádány tak, aby byly oba nezávislé toky od sebe odděleny. V každé druhé vrstvě se střídá teplé a studené médium, která jsou oddělena deskami a nemohou se smíchat. K těsnění jednotlivých desek se používá pájka (měď, nikl) a podílí se také na výměně tepla. U výměníků, které jdou rozebrat, se používá gumové těsnění místo pájky. Tyto kondenzátory jdou rozdělat

a vyčistit, popřípadě přidat další desky a zvýšit tím kapacitu. Stejné deskové výměníky jsou použity i pro výparník, jen se záměnou vstupů a výstupů. [7; 8; 11]

1.2.4 Expanzní ventil

Je redukční ventil, který vede zpětnou vazbu z kondenzátoru do výparníku a má za úkol:

- 1) Mezi vysokotlakou a nízkotlakou stranou chladicího oběhu **udrží tlakový rozdíl**.
- 2) V závislosti na výstupní teplotě z výparníku **reguluje průtok chladiva** z kondenzátoru do výparníku.
- 3) Za výparníkem udržuje přehřátí chladiva mezi 4 až 8 K.

Princip: Po průchodu kapalného chladiva expanzním ventilem poklesne jeho tlak a část chladiva se odpaří. Vznikne směs páry a kapaliny, která pokračuje do výparníku jako mokrá pára za dané výparné teploty.

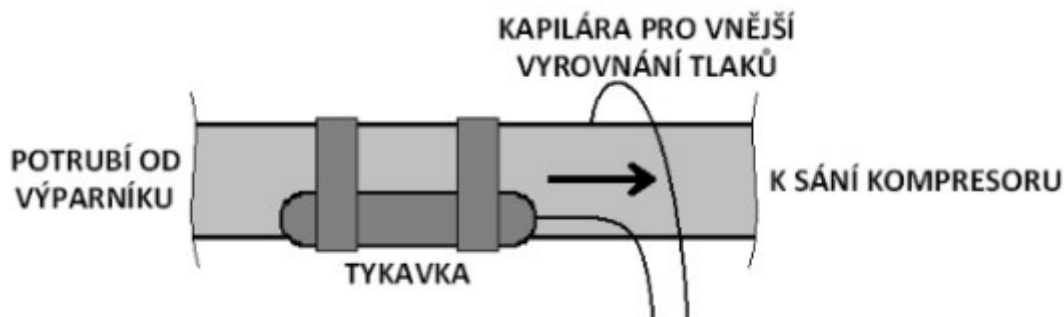
Expanzní ventily pro TČ mohou být řízeny buď elektronicky, nebo termostaticky.



Obrázek 1.6 Expanzní ventil s termostatickým řízením [8]

Na obrázku 1.6 je expanzní ventil s termostatickým řízením. Na konci vinutí se nachází tykavka, která má funkci tepelného čidla. Tykavka je malá komora naplněná plynem, u kterého se při zvýšení teploty zvyšuje tlak. Tlak je pomocí kapiláry přenášen na membránu ventilu. Tlak nad membránou stoupá s teplotou tykavky, tlak pod membránou roste s vypařovací teplotou. Rozdíl tlaků mezi membránou odpovídá přehřátí chladiva, vytváří sílu proti pružině a otevírá trysku ventilu. Ventil se otevírá,

když přehřátí kapaliny ve výparníku vzroste.



Obrázek 1.7 Umístění tykavky [1]

Na obrázku 1.7 je zobrazeno umístění tykavky, která se nachází mezi výparníkem a kompresorem. U expanzních ventilů řízených elektronicky se místo tykavky používají snímače teplot umístěné za ventilem a za výparníkem. Řídící jednotka poté vyhodnocuje rozdíl tlaků a řídí tím elektromagnet ventilu, který ho otvírá a zavírá podle potřeby. [1;7;8]

1.2.5 Ostatní prvky tepelného čerpadla

Pro efektivnější využití vyrobeného tepla z tepelného čerpadla se používají v soustavě další prvky. Používají se akumulární nádrže, regulační prvky, oběhová čerpadla, doplňkové kotle. Jako spojovací prvky jsou využity hadice, trubky, spojovací díly, armatury a další. Použití těchto prvků je závislé na složitosti a velikosti požadované topné soustavy. [4]

1.2.5.1 Akumulační nádrž

Jelikož regulace TČ není jednoduchá a závisí na chodu kompresoru, tak se používá akumulární nádrž. Je to nádrž o daném objemu, která akumuluje tepelnou energii vyrobenou z tepelného čerpadla. Hlavní využití má v topných systémech, kde se skokově mění průtoky topné vody. Při zařazení akumulární nádrže do systému má sekundární okruh TČ stálý průtok a nemá vliv na množství odebrané vody při změně nastavení trojcestného ventilu v topném systému. Sníží se četnost zapínání a vypínání kompresoru TČ, tím je zvýšena úspora energie a zvýšena životnost TČ. Nádrž je schopna akumulovat tepelnou energii i po dobu, kdy je TČ vypnuté. U monovalentního provozu TČ (tento provoz je vysvětlen v kapitole 1.5.1) v přechodném období, kdy je nízký požadavek tepla na objekt, dochází k častému spínání TČ a rychlému ohřevu topné vody, ale topný systém nestačí předávat toto teplo do okolního prostředí. Velikost akumulární nádrže je doporučena v rozsahu 10 - 20 litrů na 1 kW špičkového výkonu TČ. Při velkém předimenzování akumulární nádrže topný systém ztrácí jeho pružnost, a to může mít i za důsledek větší provozní náklady. [2; 4]

1.2.5.2 Regulace TČ

Regulace slouží pro řízení chodu TČ a všech jeho vedlejších prvků v topném systému. Mezi tyto vedlejší prvky patří doplňkový kotel, oběhové čerpadlo, ventily, ohřev vody a mnoho dalších. Pro snadné ovládání regulace topného systému uživatelem je používán ovládací panel. Tento panel obsahuje display a ovládací prvky.

Pro TČ používáme ekvitermní regulaci. Teplotu topné vody můžeme řídit nastavitelnou topnou křivkou v závislosti na venkovní teplotě. Při nízké venkovní teplotě je použita teplejší topná voda, tím je docílena rovnováha mezi dodaným teplem a tepelnými ztrátami v místnosti. Při vyšší venkovní teplotě je zase využita méně teplá voda. Do řídicí jednotky TČ jsou zaznamenávány teploty z venkovního a vnitřního čidla teploty. Na základě vyhodnocení rozdílů těchto teplot je TČ regulováno jen na požadovanou teplotu topné vody a nemusí jet na maximální výkon. Pro co nejúspornější vytápění se snažíme o co nejmenší rozdíl teploty zdroje tepla a topného systému. Regulováním výkonu topné soustavy podle aktuálních venkovních podmínek může provozovatel ušetřit náklady na topení.



Obrázek 1.8 Obrazovka regulace tepelného čerpadla [12]

Na obrázku 1.8 je jako příklad zobrazen display regulace topného systému. Ten se může nacházet v ovládacím panelu tepelného čerpadla, nebo dnešní moderní systémy umožní tuto obrazovku připojit přes wifi na tablet či chytrý telefon a umožní tím komfortnější ovládání. Tento systém regulace umožňuje několik funkcí: například základní nastavení, diagnostiku, zobrazení stavů jednotlivých jednotek topného systému, stav jednotek, stav systému a další. Umožní nám regulaci a kooperaci systémů pro ohřev topné vody, užitkové vody a bazénové vody. Na základě ovládací obrazovky můžeme vidět, že v topném systému je použito v kooperaci TČ, krb a solární panely.

Některé regulace umožní současně řídit dva topné okruhy současně. Jedná se o okruh vytápění tělesy a okruh podlahového vytápění. Regulace má i mnoho dalších možností, které si uživatel může přednastavit, a nemusí tak každý den nastavovat teplotu. Například když je uživatel mimo opuštěný dům, nastaví si režim dovolená, kdy se udržuje minimální nastavená teplota v domě. Těchto režimů je mnoho, například teplotní útlum, letní/zimní provoz, externí ovládání (GSM, Internet), ohřev vody v bazénu a další. Možnosti ohledně vymožeností regulace TČ a topného systému jsou v dnešní době hodně rozšířené, ale samozřejmě se to odrazí na větší finanční investici do celého topného systému.

V rodinných domech se používá i nadřazená regulace, která řídí celý dům. Tepelné čerpadlo nemá svou samostatnou regulaci, tím je omezeno několik jeho jedinečných funkcí a nemusí být zajištěn bezporuchový provoz TČ. Samostatná regulace je vyspělá a prošla vývojem několika desetiletí, proto se nedoporučuje používat jen nadřazenou regulaci v domě, která není dimenzovaná na TČ. Jako kompromis se používá samostatná regulace TČ s kooperací nadřazené regulace. Pro tento typ kooperace je doporučeno mít akumulární nádrž o objemu 100 – 300 litrů, která zajistí rovnoměrnější chod TČ. [2; 4; 6]

1.3 Parametry tepelných čerpadel

Základní parametr tepelného čerpadla je topný faktor, který se značí zkratkou COP (Coefficient of Performance). Někdy se značí i písmenem K. Je měřítkem energetické efektivity tepelného čerpadla a udává ho poměr celkové výstupní energie TČ a energie pro pohon TČ. Topný faktor je bezrozměrové číslo a jeho velikost se pohybuje přibližně v rozmezí 2,5 – 5 a za mimořádně příznivých podmínek i více. Toto číslo ovlivňuje typ TČ a provozní podmínky. Není to konstantní veličina, která by byla přiřazena TČ. Mění se podle pracovních podmínek TČ.

Pro jednoduchý příklad si lze představit TČ s výkonem 12 kW. Pro svůj provoz spotřebuje 3 kW. Vydělením výkonu 12 kW spotřebou 3 kW nám vyjde topný faktor 4. Při výběru TČ je potřeba srovnávat topný faktor, který je značen podle normy EN 14 511. Toto značení vypadá následovně: COP při 0°C / 35 °C je 4,5. Tento zápis znamená, že při vstupu tekutiny o teplotě 0 °C z primárního okruhu TČ na výstupu do sekundárního okruhu tekutiny o teplotě 35 °C má topný faktor 4,5. Norma udává měření za striktních podmínek určených podle metodiky dané normy EN 14 511.

Topný faktor COP změřený pro jednu kombinaci provozních podmínek v laboratoři nám nedává dostatečné informace o efektivitě TČ provozovaného za celý rok v různých měnících se teplotních podmínkách na straně výparníku a na straně kondenzátoru. Mění se i odběrový výkon, který TČ kryje svým tepelným výkonem. V případě, kdy TČ nestíhá pokrýt odběrový výkon budovy kvůli špatnému dimenzování, je použit záložní zdroj, například elektrokotel.

Pro výběr TČ na základě lepšího kritéria je sezónní topný faktor značen zkratkou SCOP (seasonal coefficient of performance). Tento faktor je definovaný normou ČSN EN 14 825. Pro výpočet SCOP je zařazena celoroční bilance produkce tepla daného TČ a spotřeba tepla budovy, která má definované tepelné ztráty v otopné sezóně se standardizovanými provozními a klimatickými podmínkami. Výpočet se provádí v otopném období, které je rozděleno na teplotní intervaly po 1K. Do výpočtu SCOP se

zahrnuje:

- 1) efektivita produkce tepla TČ v aktivním chodu
- 2) energetické ztráty vlivem cyklování TČ (*Uplatňuje se, když výkon TČ je vyšší než tepelná ztráta otopného období.*)
- 3) energetická spotřeba záložního elektrokotle (*Když výkon TČ nestačí pokrýt tepelné ztráty budovy.*)
- 4) energetická spotřeba tepelného čerpadla v pohotovostním režimu, nebo při náběhu
- 5) ztráty vychládáním výměníků v době mimo provoz
- 6) udržování kompresoru na požadované teplotě
- 7) příkony cívek elektromagnetických ventilů
- 8) příkon řídicí jednoty a mnoho dalších prvků (záleží na složitosti otopného systému)

Pro výpočet je potřeba mít k dispozici sadu hodnot výkonu a topného faktoru TČ, které jsou převzaty ze stanovených měření v laboratoři za různých kombinací provozních podmínek podle norem ČSN EN 14511 a ČSN EN 14825. Pro výpočet SCOP jsou definována tři klimatická pásma:

- 1) **teplejší** – Atény s návrhovou venkovní teplotou +2 °C (doba otopné sezóny 3590 hodin)
- 2) **průměrná** – Štrasburk s návrhovou venkovní teplotou -10 °C (doba otopné sezóny 4910 hodin)
- 3) **chladnější** – Helsinky s návrhovou venkovní teplotou -22 °C (doba otopné sezóny 6446 hodin)

Dále je pro výpočet nutné zjistit z měření ve zkušebně bod bivalence. Tento bod udává topný výkon a topný faktor za daných podmínek, kdy výkon TČ odpovídá odběrovému výkonu (tepelným ztrátám) budovy. Čím menší tepelná ztráta je zvolená výrobcem, tím menší je dohřev záložním zdrojem, ale narostou ztráty vlivem cyklování TČ. Vypočtený SCOP se používá pro klasifikaci tepelných čerpadel do tříd energetické účinnosti při jejich štítkování a to na základě nařízení Evropské komise 811/2013.

Pro získání skutečných parametrů TČ různých typů musíme použít dlouhodobé a nezávislé testy. V České republice se moc testů neprovádí kvůli finanční náročnosti jednotlivých testů. Ale můžeme například použít testy a srovnání TČ, které byly provedeny v Německu. Nejkomplexnější srovnání provádí německá agentura Fraunhofer ISE, která v roce 2011 zveřejnila výsledky 200 testů TČ.

Výsledky testů pro novostavby s podlahovým vytápěním:

- TČ čerpadla země/voda měla topný faktor SCOP = 3,9
- TČ čerpadla vzduch/voda měla topný faktor SCOP = 2,9

Výsledky testů pro starší budovy s radiátorovým vytápěním:

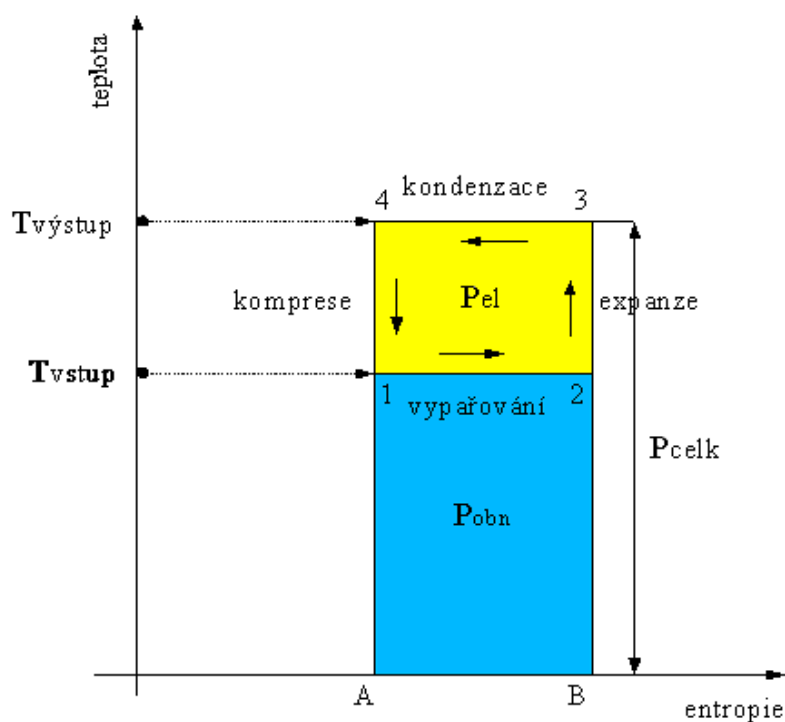
- TČ čerpadla země/voda měla topný faktor SCOP = 3,3
- TČ čerpadla vzduch/voda měla topný faktor SCOP = 2,6

Nejvyšší naměřený SCOP měl 5,2, toto TČ využívalo předimenzovaný 300 m hluboký vrt. U běžných instalací TČ se dosahuje SCOP přibližně 4,5 u systému země/voda a SCOP 3,4 u systémů vzduch/voda.

Pro výběr a porovnání TČ se používají oba dva faktory COP i SCOP. Pro rychlé porovnání TČ se používá faktor COP, ale pro zjištění ekonomické návratnosti a celkových úspor se více používá SCOP. Tento faktor hodnotí, kolik TČ skutečně ušetří, protože zahrnuje spotřebu elektřiny pro elektrokotel, oběhová čerpadla, regulaci a počítá se z celoročního provozu TČ. [2; 4; 14; 15]

1.4 Pracovní cyklus tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo má několik pracovních cyklů, mezi které patří Carnotův cyklus, Parní oběh, Rankinův oběh. Pro teoretický popis děje se používá Carnotův cyklus, který je znázorněn na obrázku č. 1.9.



Obrázek 1.9 Ideální Carnotův cyklus [13]

Na obrázku 1.9 je znázorněn T – S diagram ideálního Carnotova cyklu, kde:

- na ose x je entropie [kJ/kg]
- na ose y je teplota [K]
- T_{vystup} = teplota dodávaná TČ do otopného systému
- T_{vstup} = teplota z přírodního zdroje
- P_{el} = energie dodaná elektromotorem kompresoru
- P_{obn} = obnovitelná nízkopotenciální energie přírodního prostředí
- P_{celk} = topný výkon TČ

Jeho pracovní cyklus se skládá ze 4 fází:

- 1-2 Izotermické vypařování (při konstantní teplotě)
- 2-3 Adiabatická (izoentropická) komprese (při konstantním tlaku)
- 3-4 Izotermická kondenzace (při konstantní teplotě)
- 4-1 Adiabatická (izoentropická) expanze (při konstantním tlaku)

Ideální pracovní cyklus probíhá podle vyznačených šipek v grafu. V reálném provozu vypadá graf cyklu tepelného čerpadla poněkud odlišně. Plocha P_{obn} je úměrná energii, která je získána z nízkopotenciálního zdroje tepla. Plocha P_{el} je úměrná energii, která je dodána elektromotorem kompresoru. Součtem těchto dvou ploch P_{celk} je úsek úměrný celkovému topnému výkonu TČ. Podmínka, aby byl topný faktor větší než 1, musí být celkový topný výkon P_{celk} větší než energie dodaná elektromotorem kompresoru P_{el} . Topný faktor COP potom můžeme vypočítat jako:

$$e = P_{celk} / P_{el} = (P_{obn} + P_{el}) / P_{el} = T_{výstup} / (T_{výstup} - T_{vstup}) \quad (1.1)$$

Jednotlivé zkratky veličin z rovnice (1.1) jsou uvedeny na předchozí straně pod obrázkem 1.9. Topný faktor COP má vyšší hodnotu, je-li rozdíl mezi T_{vstup} a $T_{výstup}$ co nejmenší. V praxi toho docílíme použitím zdroje tepla s co nejvyšší teplotou a naopak teplo dodávat do topných systémů s co nejnižší teplotou. Jedna z variant je například použití podlahového topení.

Ideální Carnotův oběh nezohledňuje:

- konečnou velikost teplosměnných ploch
- reálné vlastnosti pracovních látek (chladičů)
- skutečnou účinnost zdroje pohonné energie (neizoentropický zdroj)
- tepelné ztráty do okolí
- potřeba pohonné energie pro pomocná zařízení

Protože ideální Carnotův oběh nezohledňuje výše uvedené vlastnosti, tak je pro skutečný topný faktor použit vzorec:

$$COP_{TČ} = \eta_{TČ} \cdot \frac{T_{výstup}}{T_{výstup} - T_{vstup}}, \quad (1.2)$$

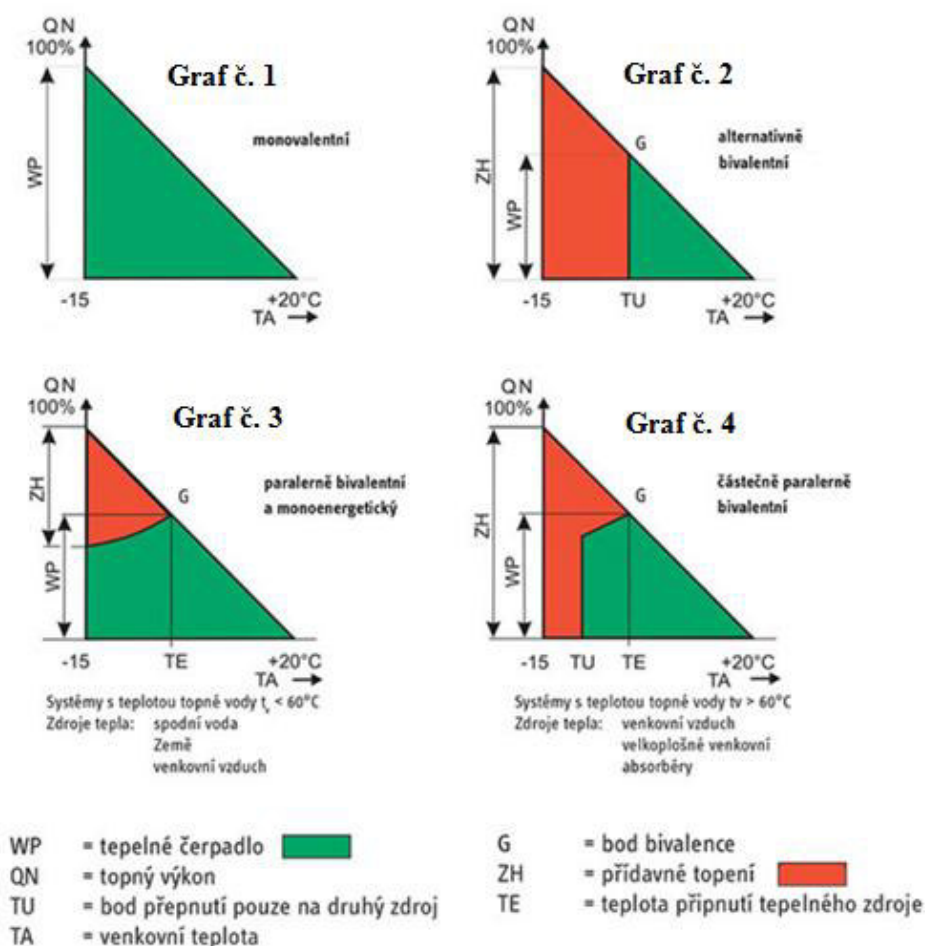
kde $COP_{TČ}$ je skutečný topný faktor, $\eta_{TČ}$ je srovnávací účinnost, $T_{výstup}$ je teplota dodávaná TČ do otopného systému a T_{vstup} = teplota z přírodního zdroje. Pro malé výkony se používá srovnávací účinnost $\eta_{TČ} = 0,4$ a pro velké výkony $\eta_{TČ} = 0,6$. [4; 13]

1.5 Provozní režimy tepelného čerpadla

Tepelná spotřeba objektu se mění během ročního období. Pro objekty, kde maximální tepelné ztráty nedosahují více než 10 dní v roce, není ekonomické vytápět tento objekt pouze TČ. Proto je lepší v takovém případě dimenzovat TČ na menší výkon a doplnit topnou soustavu o další zdroj vytápění. Jako dodatečný zdroj můžeme použít plynový

kotel, elektrokotel, krbovou vložku a jiné další možnosti. Tento dodatečný zdroj slouží zároveň jako záloha vytápění objektu pro případ, kdy je TČ mimo provoz. Kdybychom chtěli dimenzovat TČ na 100 % pokrytí tepelných ztrát objektu, tak rapidně vzrostou náklady na větší tepelné čerpadlo, hlubší vrty, větší zemní kolektory atd. Jestli se vyplatí TČ dimenzovat na 100 %, to ovlivňuje několik faktorů, hlavně celková roční spotřeba vytápěného objektu, teplota nízkopotenciálního zdroje, umístění objektu, složitost realizace daného TČ a mnoho dalších faktorů. Pro dimenzování TČ se počítá s topným výkonem při maximálně tepelné ztrátě. Hlavní rozdělení provozního režimu TČ se dělí na monovalentní a bivalentní. Bivalentní provoz se dále dělí na paralelně bivalentní, částečně paralelně bivalentní a alternativně bivalentní.

Znázornění možných provozních způsobů TČ



Obrázek 1.10 Křivky provozních režimů TČ [16]

Na obrázcích 1.10 jsou zobrazeny provozní režimy TČ. Jedná se o grafickou závislost topného výkonu TČ na venkovní teplotě. Pro jednotlivé režimy (kromě monovalentního) je důležitý bod bivalence. Tento bod znázorňuje takzvaný pracovní bod TČ, kdy výkon TČ se rovná tepelné ztrátě objektu. V optimálním návrhu se bod

bivalence pohybuje v rozmezí 0 °C až -5 °C. Tento bod se dá jednoduše vyčíst z grafické závislosti výkonu TČ na venkovní teplotě, jako je například uvedeno na obrázku č. 1.10. [16; 17; 18]

1.5.1 Monovalentní režim tepelného čerpadla

Jedná se o režim, kdy je TČ jediným vytápěcím zařízením. Je vhodné pro nízkoteplotní vytápění do teploty otopné vody 55 °C. Doporučuje se používat pro objekty s tepelnou ztrátou do 10 kW, které jsou dobře izolované a mají podlahové vytápění. Grafická závislost výkonu TČ na venkovní teplotě pro monovalentní režim je zobrazena na obrázku 1.10 v grafu č.1. V tomto grafu se nenachází bod bivalence, protože TČ je jediný zdroj vytápění. Hlavní výhodou monovalentního režimu je, že nemusí být použit velký příkon elektřiny do objektu a stačí nám menší jistič, za který je menší platební paušál. [16; 17; 18]

1.5.2 Alternativně bivalentní režim tepelného čerpadla

V tomto režimu je k TČ přidán další zdroj vytápění. Jeho režim je graficky zobrazen na obrázku 1.10 v grafu č.2. Z toho grafu lze vidět, že pokud venkovní teplota klesne pod nastavený bivalentní bod, tak TČ je odstaveno a externí zdroj vytápění nahrazuje celý jeho výkon. Tento režim se používá v zimních měsících, kdy teploty rapidně klesnou pod bod mrazu a TČ se nevyplatí používat. Tento systém se používá pro teploty otopné vody do 90 °C. [16; 17; 18]

1.5.3 Paralelně bivalentní režim tepelného čerpadla

Stejně jako u předchozího režimu je přidán k TČ další zdroj vytápění. Jen s tím rozdílem, že TČ se nevypíná. Při nízkých teplotách se připojí další zdroj vytápění a topí zároveň s TČ. Režim je graficky zobrazen na obrázku 1.10 v grafu č. 3. Na tom je vidět, že tepelné čerpadlo má více než 2/3 pokrytého výkonu vytápění. Další zdroj tam slouží jen jako pomocné vytápění. Používá se pro systémy vytápění s podlahovým vytápěním a velkoplošnými otopnými tělesy s teplotou do 55 °C. [16; 17; 18]

1.5.4 Částečně paralelně bivalentní režim tepelného čerpadla

Jedná se o podobný způsob jako je předchozí paralelně bivalentní režim. K režimu TČ je připojen další zdroj vytápění. TČ pracuje pouze po část topné sezóny, při největších mrazech je odstaveno. Teplo pak zajišťuje další zdroj tepla. Před odpojením TČ pracují oba zdroje současně do určité doby. Grafické znázornění děje, kdy TČ spolupracuje a pak se odpojí, můžeme vidět na obrázku 1.10 v grafu č.4. Pod teplotou bivalence se připíná další zdroj vytápění a při nedosažené potřebné výstupní teplotě se čerpadlo vypne. Režim je vhodný pro otopné soustavy s teplotou otopné vody do 60 °C. [16; 17; 18]

1.6 Typy tepelných čerpadel

Rozdělení tepelných čerpadel je na základě způsobu získávání nízkopotenciálního tepla. Mezi zdroje nízkopotenciálního tepla patří:

- venkovní vzduch
- vnitřní vzduch (odváděný vzduch pomocí větracího systému budovy)
- povrchová voda (rybníky, řeky, vodní nádrže)
- podzemní voda (studny, šachty, vrty)
- půdní vrstva (zemní kolektory)
- suché zemské teplo hornin (suché zemní vrty)

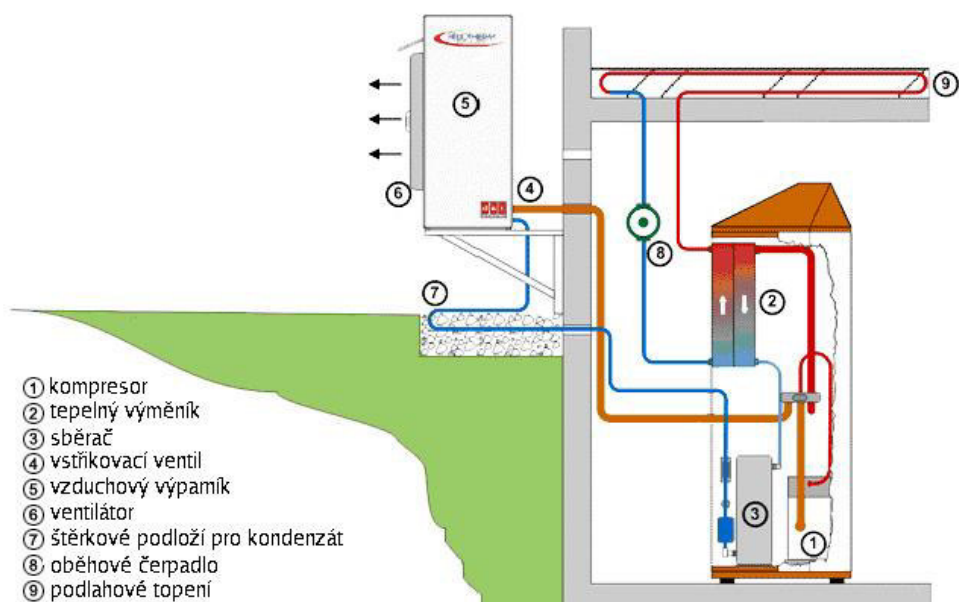
V označování TČ jsou použity výrazy země, voda, vzduch, které jsou odděleny lomítkem. První slovo před lomítkem označuje zdroj, ze kterého TČ odebírá energii (země, voda, vzduch). Druhé slovo za lomítkem udává médium (voda, vzduch), do kterého se nízkopotenciální teplo předává a následně jím je pak předán do vytápěného objektu.

1.6.1 Tepelné čerpadlo vzduch/voda

Tepelné čerpadlo vzduch/voda odebírá teplo z okolního nebo odpadního vzduchu a předává ho do topné vody. Celý systém tohoto provedení se skládá z venkovní a vnitřní jednotky, nebo v případě kompaktního zapojení je celé TČ umístěno venku, nebo uvnitř. Je to systém, který se dá snadno instalovat jak na novostavbu, tak na starý objekt. Používá se i u objektů, kde nelze použít jiný typ TČ, například tam, kde nelze vrtat hlubinný vrt, nebo zabudovat zemní kolektory. Odpadají tím tedy složité zemní práce a pořizovací náklady jsou podstatně nižší.

S měnící se teplotou venkovního vzduchu se mění i výkon TČ. S rostoucí venkovní teplotou roste i výkon TČ, naopak s klesající teplotou klesá i výkon. S klesající venkovní teplotou klesá i topný faktor COP. Na základě této teplotní závislosti se tento typ TČ používá výhradně v bivalentním provozu. Nelze používat TČ vzduch/voda pro pokrytí vytápění objektu po celý rok, a proto se dimenzuje na 60 % až 70 % tepelných ztrát objektu při nejnižších teplotách v daném roce. Jako doplňkový zdroj tepla je většinou použit elektrokotel, nebo plynový kotel. Tento doplňkový kotel se přidá do provozu, jakmile klesne venkovní teplota pod bod bivalence $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplo dodávají oba dva zdroje současně do té doby, než neklesne venkovní teplota pod hodnotu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Od této teploty už nepracuje vzduchové tepelné čerpadlo a je odpojeno. V těchto teplotách musí doplňkový zdroj pokrýt potřebu tepla celého objektu, proto je potřeba dimenzovat ho na 100% tepelných ztrát objektu.

Jak už bylo zmíněno na začátku kapitoly, tak máme dva typy provedení TČ vzduch/voda. Prvním provedením je složení systému z venkovní a vnitřní jednotky, někdy nazývané jako „split“ zapojení. Vnější jednotka nasává venkovní vzduch a skládá se z ventilátoru, výparníku a expanzního ventilu. Její umístění je buď na střeše domu, nebo u zdi jižní strany domu. Pro umístění u zdi je potřeba vybudovat betonový základ a udělat odvod kondenzátu vzniklým ze vzdušné vlhkosti. Vnitřní jednotka je zapojena do topného systému a zajišťuje ohřev topné vody. Obsahuje zbylé díly TČ včetně kompresoru. Venkovní a vnitřní část jsou propojeny tepelně izolovanými měďnými trubkami, do kterých se po instalaci TČ a tlakové zkoušce naplní oběhové chladivo.



Obrázek 1.11 Tepelné čerpadlo vzduch/voda - vnitřní a vnější jednotka [19]

Provedení TČ vzduch/voda včetně umístění jeho jednotlivých komponentů je zobrazeno na obrázku 1.11. Venku se nachází výparník, přes který proudí vzduch, který pro své vypařování odebírá kolující chladivo. Zde se odpaří chladivo a je přečerpáno kompresorem do kondenzátoru, který je umístěn ve vnitřní jednotce. Zde chladivo zkondenzuje a odevzdá teplo to topné soustavě. Zkondenzované chladivo jde zpátky přes vstřikovací ventil do výparníku.

Druhé provedení TČ vzduch/voda je kompaktní. Celé TČ je uzavřené vcelku v jedné kompaktní nádobě a chladivo je naplněno už od výrobce. Ze sekundárního výměníku proudí topná voda přes tepelně izolované potrubí až do objektu. Sekundární výměník a potrubí musí být chráněno proti zamrznutí v případě výpadku elektrické energie, nebo musí být použita nemrznoucí směs. Kompaktní TČ můžeme umístit i dovnitř objektu, a to nejčastěji v garáži, nebo ve sklepě. Vzduch se přivádí pomocí vzduchových rukávů, nebo vzduchovým potrubím. Doporučeným řešením je zapojit TČ do rohu mezi dvě kolmé stěny. Vzduch, který proudí ven z TČ, by měl foukat do volného prostoru a neměl by směřovat na žádnou zeď nebo objekty, které by mohl poškodit.

vnitřní provedení



venkovní provedení



Obrázek 1.12 Kompaktní tepelné čerpadlo ve vnitřním a venkovním provedení [20]

Na obrázku 1.12 je zobrazeno kompaktní zapojení TČ vzduch/voda. Levý obrázek znázorňuje vnitřní kompaktní provedení se vzduchovými rukávy zapojenými v rohu na dvě kolmé zdi. Tyto rukávy musí zajistit velké množství protékajícího vzduchu řádově m^3/h . Na pravém obrázku je zobrazeno venkovní provedení, které nám sice ušetří místo ve vytápěném objektu, ale je potřeba dobře ošetřit sekundární okruh proti zamrznutí. Venkovní kompaktní zapojení je pak dražší než vnitřní.

U obou typů TČ vzduch/voda proudí jednotkou velké množství vzduchu, který vytváří určitou úroveň hluku. Tento hluk může rušit jak samotného uživatele, tak i sousedy. Proto je potřeba při instalaci uvažovat o vhodném umístění vzduchové jednotky. V případě těsné blízkosti sousedních objektů je možné jednotku odhlučnit speciální stavební konstrukcí. U kvalitních vzduchových čerpadel se akustický tlak pohybuje pod hodnotu 40 dB (A) ve vzdálenosti 5 m od venkovní jednotky. To je přijatelná hladina hluku, například tichého šumu v bytě.

Z důvodu velké závislosti výkonu a topného faktoru COP na teplotě venkovního vzduchu by nemělo TČ vzduch/voda být používáno v horských oblastech s dlouhotrvajícími nízkými podprůměrnými venkovními teplotami. V případě instalace TČ v takové oblasti potom často spíná dodatečný zdroj tepla. Vytápění je pak více nákladné a využití TČ vzduch/voda neefektivní.

Výhody TČ vzduch/voda:

- snadná a rychlá instalace
- nezávislost na velikosti pozemku daného objektu
- nižší investice v porovnání s TČ země/voda
- může se využít pro chlazení objektu v letních měsících
- nízké provozní náklady v porovnání s elektrickým nebo plynovým vytápěním
- bezúdržbové a bezpracné užívání v porovnání s kotlem na dřevo nebo uhlí

Nevýhody TČ vzduch/voda:

- hlučnost venkovní jednotky
- nízký výkon při nízkých venkovních teplotách
- kratší životnost kompresoru než u TČ země/voda
- u některých druhů TČ vzduch/voda jsou revize chladícího okruhu
- přibližně o 30 % větší spotřeba elektřiny než u TČ země/voda

Tepelná čerpadla vzduch/voda jsou vhodná pro lidi, kteří již mají postavený dům a chtějí snížit náklady na vytápění bez velkých investic a velkých stavebních úprav jak v domě, tak na pozemku. Pro lidi, kteří plánují stavbu nového domu a mají možnost dělat stavební úpravy na svém pozemku, nebo vrtat do hloubky, se z hlediska dlouhodobých úspor vyplatí nainstalovat jiný typ TČ, například země/voda. Tento typ je popsán v jedné z následujících kapitol 1.6.4. [1; 2; 4; 20; 21]

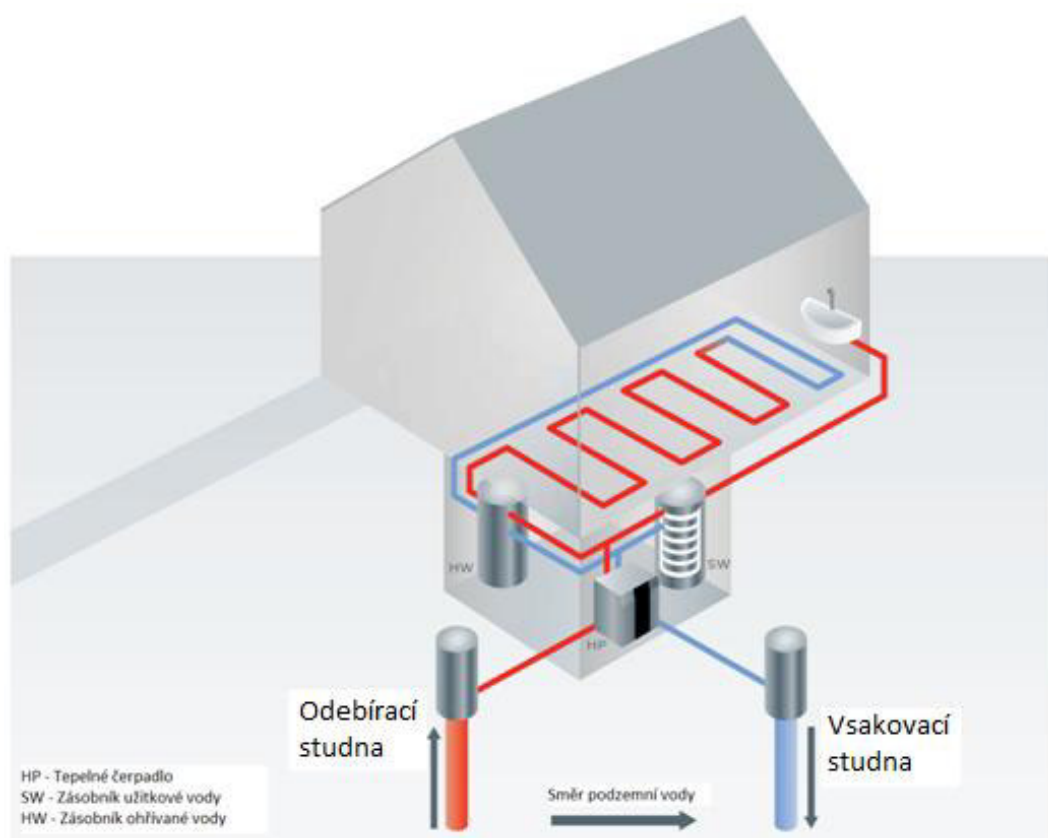
1.6.2 Tepelné čerpadlo voda/voda

Tepelné čerpadlo voda/voda odebírá nízkopotenciální teplo z podzemní nebo povrchové vody. Považuje se za jeden z neefektivnějších systémů tepelného čerpadla, protože podzemní voda má stabilní teplotu okolo 8 až 10 °C po celý rok, dokonce některé termální prameny mají až 20 °C. Z toho důvodu se podzemní voda považuje za nejteplejší přírodní zdroj. Výkon TČ je proto relativně stálý i v zimním období. Ze

všech druhů TČ dosahuje TČ voda/voda nejvyšší průměrný roční topný faktor za nejnižší náklady. Lokalit pro jeho instalaci je na českém území poměrně málo, a proto mají daleko menší podíl v TČ než TČ vzduch/voda, které lze snadno a univerzálně nainstalovat. Ještě před instalací TČ voda/voda je potřeba hydrogeologický výzkum dané oblasti, která bude použita pro TČ. Celý systém je náročný na množství a částečně kvalitu vody. První způsob je realizován průtokem vody přímo výměníkem na primární straně TČ, jedná se o otevřený primární okruh, jako zdroj je použita podzemní voda a princip použití je popsán v kapitole 1.6.2.1. Druhý způsob použití je realizace průtoku nemrznoucí vody v kolektorech, jako zdroj je použita povrchová voda a princip tohoto systému je popsán v kapitole 1.6.2.2. [1; 2; 3; 23]

1.6.2.1 Tepelné čerpadlo voda/voda – zdroj podzemní voda

Tento způsob čerpání tepla ze spodní vody patří k nejkomplicovanějším způsobům realizace, která nese určitá rizika a problémy. K realizaci je potřeba mít dvě studny. Jedna studna (odebírací) slouží k čerpání vody pro TČ, kde je teplo předáváno pomocí výparníku do primárního okruhu TČ. Druhá studna (vsakovací) slouží pro odběr ochlazené vody z výparníku TČ. Studny by měly mít mezi sebou vzdálenost minimálně 15 m, aby se čerpaná voda nesmíchala se vsakovací ochlazenou vodou z TČ. Umístění odebírací a vsakovací studny by mělo být provedeno tak, aby podzemní proudy směřovaly od odebírací studny ke vsakovací.



Obrázek 1.13 Tepelné čerpadlo voda/voda s odebírací a vsakovací studnou [22]

Na obrázku 1.13 je zobrazena realizace TČ voda/voda čerpáním podzemní vody. Je zde i zobrazeno umístění TČ, zásobníku užitkové vody a zásobníku ohříváné vody. Voda z odebírací studny se čerpá do výparníku TČ a ochlazená voda o zhruba 2 °C až 4 °C z výparníku koluje do vsakovací studny. Celý proces se opakuje.

Rodinný dům potřebuje vydatný pramen vody alespoň 0,5 l/s, což odpovídá 40 000 l za den. Před samotnou realizací je nutné provést čerpací zkoušky. Z odebírací studny se pomocí ponorného čerpadla odebírá voda potřebnou rychlostí, která by byla odebírána i TČ se stejným výkonem. Zkouška trvá minimálně 28 dní. Pokud se voda ze studny nevyčerpá, nebo neovlivní hladiny sousedních studní, tak je realizace tohoto typu TČ proveditelná. Na základě čerpacích zkoušek se vydává povolení pro použití podzemní vody. K čerpací zkoušce se provádí zároveň i vsakovací zkouška, která je též provedena před realizací TČ a na základě jejího splnění se vydává povolení pro vypouštění podzemních vod. Voda se nesmí vypouštět do kanalizace. Další podmínkou pro správný chod je čistota vody. Voda nesmí obsahovat mechanické nečistoty (písky, kaly), které by zanášely filtry a výměník teplotního čerpadla. Není vhodné používat vodu s vysokým obsahem minerálu a železa, u těchto vod je potřeba provést podrobný rozbor a zvážit realizaci TČ touto metodou. Hloubka kopané nebo vrtané studny by měla být správně vyhodnocena, aby energie vynaložená na čerpání nebyla nákladná. Pro rodinné domy se doporučuje maximální hloubka studny 25 m. Hloubku se určuje podle umístění spodní vody a je u každého objektu jiná.

Mezi hlavní rizika a nevýhody tohoto provedení patří zamrznutí vody ve výparníku TČ. K tomu může dojít v případě poruchy TČ, nebo zanesením filtrů, kde během krátké doby prudce poklesne teplota na výparníku a zamrzne. Pro včasné vypnutí TČ v případě sníženého průtoku se nainstaluje snímač průtoku. Další nevýhodou je, že pokud voda nesplňuje chemické složení a čistotu vody, musíme nainstalovat předřazený výměník. Ten sníží teplotu na výparníku TČ a zároveň klesne i topný faktor. Součástí instalace musí být i oběhové čerpadlo, které zase zhorší topný faktor TČ. Pro snížení četnosti čištění filtrů, které filtrují vodu z odebírací studny, se instaluje více paralelních filtrů vedle sebe.

Výhody TČ voda/voda – zdroj podzemní voda:

- dosahují nejvyšších topných faktorů ze všech typů TČ
- nižší investice v porovnání s TČ používané s vrty
- zpětné využití odpadního tepla v technologických procesech
- nižší nárok na prostor než systémy s vrty

Nevýhody TČ voda/voda – zdroj podzemní voda:

- pouze v lokalitách s výskytem dostatečného množství spodní vody
- údržba filtrů a výměníků
- nižší životnost čerpadel a filtrů
- provedení zkoušek: čerpací, vsakovací, kvalita vody
- nutné povolení pro používání spodní vody

Tepelné čerpadlo s využitím podzemní vody je vhodné využít v lokalitě, kde se vyskytuje velké množství kvalitní vody, která je snadno dostupná. Při realizaci je nutno počítat s nákladnějšími investicemi při vybudování studny a úpravě terénu. Pokud má uživatel možnost realizaci tohoto typu, tak provede dobrou investici do budoucna, protože jsou to TČ s nejvyšším topným faktorem. Navíc tento typ TČ se dá realizovat

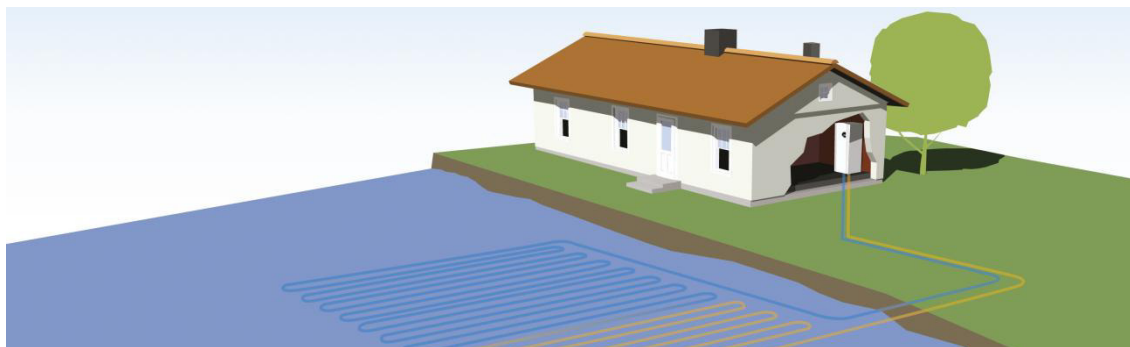
v monovalentním provozu a není potřeba instalace dalšího zdroje vytápění. [1; 2; 3; 23; 24; 25]

1.6.2.2 Tepelné čerpadlo voda/voda – zdroj povrchová voda

Tento systém TČ voda/voda využívá stojatou, nebo tekoucí povrchovou vodu, je méně běžný než předchozí varianta s využitím podzemní vody. Mezi povrchovou vodu patří vodní nádrže, rybníky, řeky a náhony.

První varianta je přímý odběr vody, kde se čerpá přímo voda z vodního toku do TČ a ochlazená zpět vypouští do vodního toku. Teplota vody ve vodních tocích není stabilní a v zimě může teplota vody klesnout pod 4 °C. To může způsobit zamrzání vody v primárním výparníku. Ochlazení vody musí být co nejmenší, proto je potřeba použít silné oběhové čerpadlo, které nám zvedne náklady, a potom se tato varianta stává méně efektivní. K tomuto přímému odběru vody z potoků, řek a rybníků je potřeba vystavení povolení od majitele nebo správce povodí, které bývá většinou problémem.

Druhá varianta realizace znázorněná na obrázku 1.14 je nepřímý odběr tepla pomocí vložení výměníku na dno vodního toku nebo rybníka. Výměník je zhotoven jako kolektory z PE hadic, které se umísťují na dno vodního toku s roztečí 0,5 m až 1 m, a jsou zatíženy závažím. Jedná se o uzavřený primární okruh, ve kterém koluje nemrznoucí kapalina. U této varianty na rozdíl od předchozí s přímým čerpáním odpadá závislost na složení a čistotě vody. Stačí slabé oběhové čerpadlo, které je nízkonákladové. Čerpání tepla z vodního toku způsobuje jeho ochlazení a to má určitou mez. Voda se nesmí ochladit pod určitou teplotu, aby neohrožovala živočichy.



Obrázek 1.14 Realizace TČ voda/voda s položením PE hadic na dno vodního toku [26]

Výhody TČ voda/voda – zdroj povrchová voda:

- nízké náklady na vybudování kolektorů
- dlouhá životnost tepelného čerpadla a plošného kolektoru
- žádný hluk
- snadná údržba
- nižší náklady v porovnání TČ vzduch/voda a země/voda

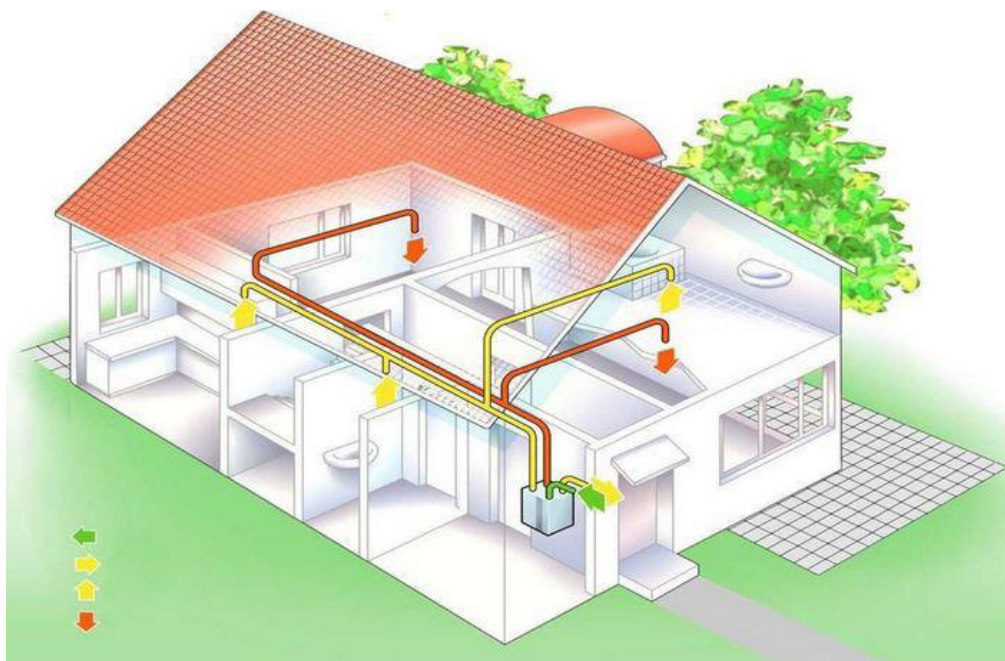
Nevýhody TČ voda/voda – zdroj povrchová voda:

- objekt musí ležet vedle vodního toku
- povolení od správce povodí nebo majitele vodní nádrže
- stálá hladina vody

Využití tepelného čerpadla voda/voda se zdrojem povrchové vody je možné jen pro objekty, které se nachází přímo vedle vodního toku nebo vodní nádrže. Více používaný je systém s využitím PE hadic, protože čerpání vody přímo do TČ způsobuje hodně komplikací a problémů hlavně v zimních měsících. Využití TČ voda/voda pomocí PE hadic je podobné jako u TČ země/voda, které je podrobně popsáno v kapitole 1.6.4. Celkově TČ s využíváním povrchové vody nejsou moc rozšířené, protože je s nimi spojeno mnoho problémů s povolením realizace a ochranou životního prostředí. [1; 2; 24; 26]

1.6.3 Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch

Typ tohoto TČ pracuje na stejném principu jako TČ vzduch/voda, jen s tím rozdílem, že tepelný výkon z venkovního vzduchu se předá vnitřnímu vzduchu daného objektu. Vnitřní zařízení TČ tvoří nástěnná jednotka, která vytápí místnost, ve které je umístěná. Venkovní zařízení TČ bývá nainstalováno na zemi vedle domu, nebo na střeše. Jednotka nainstalovaná v místnosti vytápí jen jednu místnost, teplo do ostatních místností se dostává špatně. Jako řešení je možné použít více vnitřních jednotek, které jsou zapojeny v každé místnosti zvlášť a společným rozvodem vzduchu v domě jsou vedeny do venkovní jednotky TČ. Tato varianta je ale nákladnější, protože je potřeba více vnitřních jednotek a výkonnější TČ. Běžnější je systém s jednou vnitřní jednotkou. Nejčastěji se TČ vzduch/vzduch používá pro temperování teploty v rekreačním objektu například na teplotu 10 °C. Je vhodné i pro vytápění malých bytů.



Obrázek 1.15 Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch s rozvody v rodinném domě [27]

Na obrázku 1.15 je zobrazeno TČ vzduch/vzduch s rozvody vzduchu po rodinném domě. Žlutou barvou jsou označeny rozvody odsávání vzduchu z místností, kde se udržuje vlhkost (kuchyně, koupelna). Červenou barvou jsou vyznačeny rozvody, které vhánějí do místnosti teplý vzduch. Venkovní jednotka je umístěna na fasádě objektu, čerpá vzduch do objektu i z objektu.

Výhody TČ vzduch/vzduch:

- jednoduchá a rychlá instalace
- nejnižší pořizovací cena v porovnání s ostatními TČ
- využívá se i jako klimatizace v letním období
- doplňkové funkce (odvlhčení vzduchu, čištění vzduchu, ionizace vzduchu)

Nevýhody TČ vzduch/vzduch:

- počet vnitřních jednotek je omezen
- nelze ohřívat teplou vodu tímto TČ
- hlučnost venkovní i vnitřní jednotky
- nehodí se pro objekty s velkým počtem malých místností

Tepelná čerpadla vzduch/vzduch s využitím venkovního vzduchu se nepoužívají v monovalentním režimu a nepokrývají veškeré tepelné ztráty objektu za celý rok. Používají se nejčastěji v kombinaci s elektrokotlem, přímotopným panelem, nebo elektrickým podlahovým topením. Díky topení na elektřinu je v objektu nižší sazba tarifu elektřiny. To se promítne do úspory u TČ vzduch/vzduch, protože pro jeho provoz se využívá elektřina. Typ tohoto TČ dokáže pracovat do teploty okolo -15 °C. [2; 27; 28]

1.6.3.1 Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch – využití odpadního vzduchu

Mezi tento typ TČ patří i systémy používané pro rekuperaci odpadního vzduchu. Jedná se o složité systémy s kombinací výměníků tepla. Může být umístěn výparník přímo do místnosti s odpadním vzduchem. Dále může probíhat odběr tepla přes vodní okruh z výměníků vzduch/voda umístěných u výstupu odpadního vzduchu. Je možnost i velkoplošných výměníků bez ventilátorů, nebo použít výměníky v centrální vzduchotechnické jednotce. Někdy se TČ zařadí až za rekuperační výměník a odebírá zbytkové teplo z rekuperačního systému, který odpadní vzduch dále nevyužije.

Využívá se odpadní vzduch vzniklý při technologickém procesu z pecí, kondenzátorů a apod. I při odvětrávání daného objektu lze využívat odpadní vzduch. Vzduch, který se odvádí větráním, má teplotu okolo 20 °C a jsou v něm obsaženy tepelné zisky z vnějších a vnitřních zdrojů. U novostaveb s perfektní izolací je na ohřátý vzduch pro větrání spotřebováno až 40 % z celkové spotřeby za vytápění. U těchto domů se dá využít teplo z odvedeného vzduchu z vytápění a ohřevu teplé vody. Pro využití odpadního tepla je použito speciální TČ s výkonem 2 kW, které odebírá pouze teplo z odpadního vzduchu. Můžou být současně použita i TČ, která využívají teplo z vrtů nebo plošných kolektorů. V případě nevyužití tepla pro ohřev vody nebo vytápění, je teplo odváděné do země. Tím se zvýší teplota země alepší vlastnosti pro odběr tepla ze země. Na základě toho je možno zmenšit plochy zemních kolektorů nebo hloubku vrtu a ušetřit tím za výkopové a stavební práce. [2; 3; 29]

1.6.4 Tepelné čerpadlo země/voda

Patří k velmi významným z kategorie tepelných čerpadel. Patří k nejstabilnějším tepelným čerpadlům i za nepříznivých klimatických podmínek. Tento typ TČ země/voda odebírá teplo ze zemského povrchu přes primární okruh, který je uzavřený a

naplněn nemrznoucí kapalinou. Tento okruh je umístěn v zemi a je realizován buď plošnými horizontálními zemními kolektory, nebo svislými zemními vrty. Kolektory a vrty obsahují plastové trubice, které jsou naplněny nemrznoucí kapalinou. Primární okruh pak předá teplo topné vodě přes výparník, kompresor a kondenzátor. Nemrznoucí kapalina cirkuluje v plastových trubicích umístěných pod povrchem země. Průtokem trubkami v zemi se nemrznoucí kapalina ohřívá, neboli přebírá teplo ze země. Ochlazená nemrznoucí kapalina z TČ koluje zpátky do země k opětovnému zahřátí. Cyklus se stále opakuje. Mezi hlavní nevýhody patří velmi nákladné zemní práce spojené s instalací TČ země/voda. Pro plošné horizontální zemní kolektory jsou potřeba rozsáhlé zemní výkopové práce, ale jsou pořád méně nákladné v porovnání s realizací geotermálního vrtu. Nejnákladnější položka z celého systému vytápění je právě vyvrtání vertikálního zemního vrtu. Výběr mezi horizontálními zemními kolektory, nebo vertikálním zemním vrtem závisí na geologické situaci okolo objektu. U novostaveb, které mají kolem sebe volný prostor, se doporučuje realizace zemních kolektorů. Ti, kteří nemají prostor kolem svého objektu, volí variantu se zemním vrtem. S rostoucí hloubkou pod zemským povrchem roste i teplota hornin. V hloubce pod 10 m je během celého roku téměř stabilní teplota 10 °C až 12 °C v podmínkách našeho území.



Obrázek 1.16 Tepelné čerpadlo země/voda - umístění v objektu [30]

Na obrázku 1.16 je vidět umístění TČ země/voda. Vstup a výstup do TČ jde přes zeď izolovanými trubkami do plošných kolektorů, nebo zemních vrťů. Teplá voda z TČ koluje do akumulární nádoby s vnitřním bojlerem. Provoz je proveden většinou v bivalentním režimu a pod bodem bivalence, který se pohybuje mezi -5°C až -8°C. Následně se sepne pomocný elektrokotel, který je umístěn mezi TČ a akumulární nádobou. Tento systém zapojení umožňuje kombinaci se solárními kolektory. Může být v provozu i v monovalentním režimu, to má své výhody i nevýhody. V následujících podkapitolách jsou popsány realizace TČ země/voda s plošným kolektorem, vrtem a energetickými piloty. [1; 3; 4; 30]

1.6.4.1 Tepelné čerpadlo země/voda – zemní plošný kolektor

Typ TČ země/voda s využitím zemního plošného kolektoru je nejméně nákladný a nejsnadnější v realizaci ze skupiny TČ země/voda. Pro povolení zabudování plošného kolektoru stačí ohláška na stavební úřad. První podmínka pro realizaci je dostatečně

velký pozemek přibližně 200 až 400 m² a potřebná hloubka v zemi asi 1 až 2 m. Další podmínka je dobře si rozvrhnout místo, kde se kolektory uloží. Nad umístěnými kolektory se nesmí nic stavět ani budovat, například garáž nebo bazén. Využívá se v podstatě sluneční energie, která akumuluje teplo do vrchních vrstev země, následně TČ odebere toto teplo ze země a využije pro vytápění objektu a ohřev vody. Půdu ovlivňují i jiné faktory než slunce, jako je například déšť, klimatické podmínky dané oblastí, a jiné další faktory. Pro realizaci zemních kolektorů je důležité znát termické vlastnosti půdy, polohu místa a jeho okolí. Místo, kde se kolektory umístí, nesmí být ničím zakryto. Realizace je provedena dvěma způsoby, buď horizontálním plošným kolektorem, nebo horizontálním výkopovým kolektorem.



Obrázek 1.17 Horizontální plošný kolektor [31]

Na obrázku 1.17 je zobrazena pokládka horizontálního plošného kolektoru o rozloze 600 m².

Horizontální plošný kolektor by měl být umístěn v hloubce 1,2 – 1,5 m, v našich klimatických podmínkách udávaná hloubka nezamrzá. Kolektor je vyroben z vysokohustotního polyethylenu. Pokládá se na souvisle odkrytou plochu s roztečí 0,6 – 1 metru. Plocha kolektorů odpovídá přibližně dvou až tří násobku plochy vytápěného objektu. Pro potrubí kolektoru s pískovým podložím jsou použity materiály HDPE, PE 100 nebo PE 100+. V oblastech s vyšší vlhkostí, nebo zvodněným podložím se používá obsyp. Naopak v suché zemině písek funguje jako izolátor, což nechceme. Bez pískového podloží se používá materiál hadic PE 100 RC. Měrný výkon kolektorů se udává od 40 W/m² u půdy se spodní vodou až po 10 W/m² u suché písčité půdy. Pro výkon tepelného čerpadla 10 kW jsou potřeba plošné kolektory o rozloze 250 – 350 m².



Obrázek 1.18 Horizontální výkopový kolektor [32]

Na obrázku 1.18 je realizace horizontálního výkopového kolektoru. Horizontální výkopový kolektor se pokládá do hloubky dvou metrů a více. Šířka výkopu se pohybuje okolo 1 metru. Platové trubky se pokládají jako spirála, kvůli rozložení čerpání energie. Materiál trubek se používá stejně jako u horizontálních plošných kolektorů. Je uvedeno, že na 1 kW TČ je potřeba 5-8 m dlouhý výkop.

Výhody TČ země/voda – zemní plošný kolektor:

- o 30 % nižší spotřeba elektřiny oproti TČ odebírající teplo ze vzduchu
- nízké investiční náklady srovnatelné se vzduchovými TČ
- dlouhá životnost TČ
- dlouhá životnost kolektorů
- žádný hluk a snadná údržba

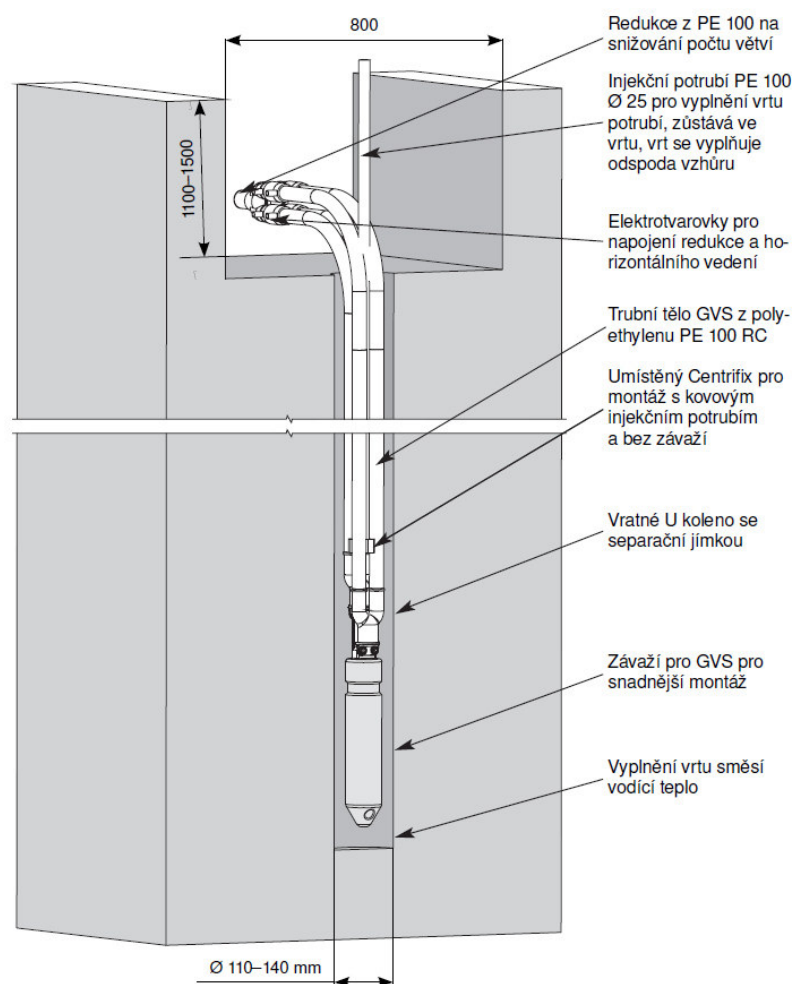
Nevýhody TČ země/voda – zemní plošný kolektor:

- plocha kolektorů nesmí být zakrytá ani se na ní nesmí nacházet žádná stavba
- výkopové práce
- dostatečně velký pozemek, minimálně 200 m²

Tepelné čerpadla se zemním plošným kolektorem jsou velmi rozšířená, protože jsou cenově dostupná, mají dlouhou životnost, spolehlivost a jsou snadná na údržbu. Jedinou nevýhodou je, že je potřeba velký pozemek. Kdo ho nemá, tak volí jinou variantu TČ. [1; 2; 3; 33]

1.6.4.2 Tepelné čerpadlo země/voda – geotermální vrtý

Tepelná čerpadla země/voda s geotermálními vrtý jsou v ČR nejrozšířenějším způsobem pro získávání geotermální nízkopotenciální energie. Realizace vrtů je dlouhý proces a je sní spojena legislativa, evropské normy a předpisy. Toto vše zařizuje firma, která vrt realizuje. Na rozdíl od TČ využívající plošné kolektory stačí na realizaci vrtu jen malá plocha. Vrt lze situovat vedle stavby, nebo pokud se realizace provádí před stavbou domu, tak lze vrt realizovat pod základovou deskou. Vrtý mají poměrně malý průměr, přibližně 13 cm – 22 cm a hloubku 70 – 140 m podle požadovaného výkonu a geologické situace. Realizace spočívá v uložení výměníku z PE hadic do hlubokého vrtu, kde koluje nemrznoucí kapalina. Na spodní část potrubí, které vstupuje do vrtu, je umístěno závaží, aby se potrubí snadněji instalovalo na úplné dno vrtu. Po vložení celého potrubí do vrtu se musí volné místo mezi hadicemi vyplnit vhodnou hmotou, aby vrt, který narazí na spodní vodu, ji neznečistil. Neutěsněnými místy mezi PE hadicemi by se mohla dostat znečištěná povrchová voda na dno vrtu. Pro těsnící výplň se používá cementová nebo jílocementová směs, která vede teplo ve vrtu.



Obrázek 1.19 Konstrukce geotermálního vrtu s vloženým výměníkem [4]

Na obrázku 1.19 je zobrazen průřez geotermálním vrtem s vloženým výměníkem. Výměník je zhotoven z hadic z odolného materiálu PE 100 RC. Na spodu vrtu jsou tyto hadice zakončeny U kolenem, pod ním je umístěno závaží pro snadnější montáž. Ve středu průměru vrtu je vedeno potrubí pro výplň vrtu. Nahoře vrtu je pak redukce z materiálu PE 100 pro snížení počtu větví. Vrty se dobře provádí v oblastech s tvrdým podložím, u podloží se šterky a písky je vrtání o dost obtížnější. Na 1 kW výkonu TČ je potřeba 12 m – 18 m hloubky vrtu. Výkon záleží na druhu podzemního podloží, který je uveden v tabulce 1.1. Tepelné čerpadlo o výkonu 10 kW potřebuje přibližně 140 m hluboký vrt, nebo dva vrty po 70 m. Doporučuje se ale volit vždy jeden hlubší vrt, jen v případech, kdy to neumožní geologické podmínky, se vrtá více kratších vrtů. Vzdálenost vrtů by měla být minimálně 5 m – 10 m od sebe.

Tabulka 1.1 Přehled výkonu TČ v závislosti na druhu podloží

Druh podloží	Hloubka na 1 kW výkonu TČ [m]
Suché usazeniny	33
Pevná hornina a jíly	15
Hornina se spodní vodou	10

Výhody TČ země/voda – geotermální vrt:

- stabilní výkon i za extrémních klimatických podmínek
- vysoký topný faktor i za extrémních klimatických podmínek
- využití vrtu pro chlazení domu (pasivní nebo aktivní)
- žádný hluk
- snadná údržba
- velká životnost vrtu i TČ

Nevýhody TČ země/voda – geotermální vrt:

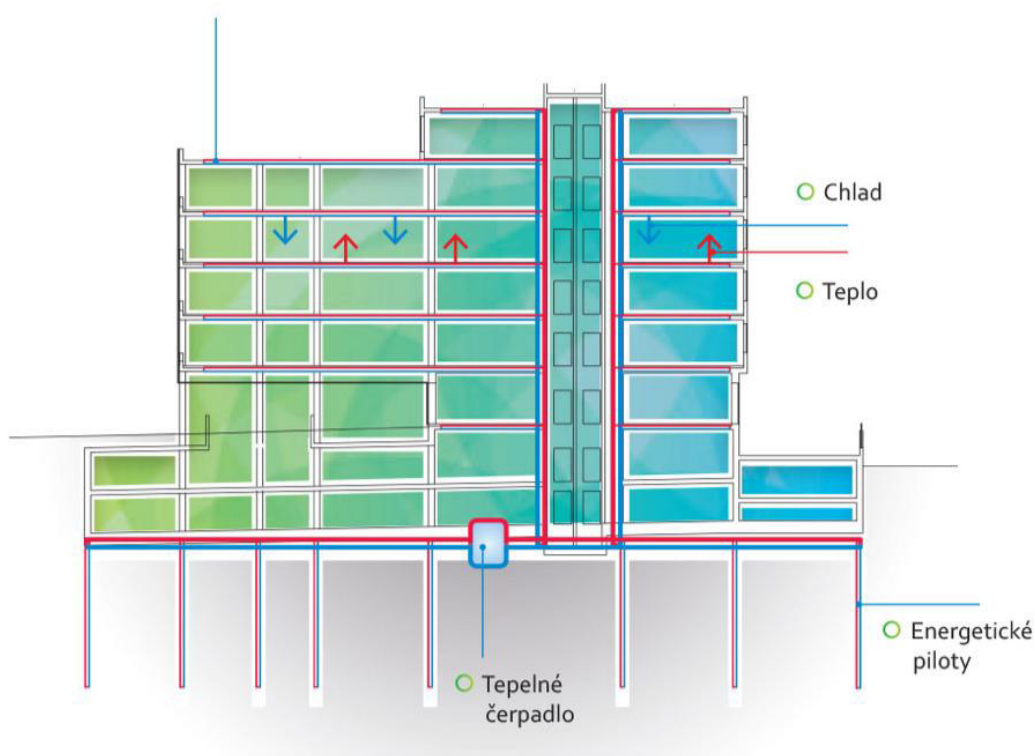
- povolení od stavebního a vodoprávního úřadu (zařizuje firma)
- vyšší investice pro realizaci vrtu

Tento typ čerpadla je absolutně nezávislý na změně počasí, ale je vysoká pořizovací cena. Může se instalovat i do horských oblastí, kde venkovní teploty sahají pod -25 °C. Při správném návrhu může TČ země/voda s využitím geotermálních vrtů pokrýt 100 % tepelných celoročních ztrát vytápěného objektu, tudíž pracuje v monovalentním režimu a není potřeba mít další zdroj vytápění. Lze využívat v letních měsících i pro chlazení objektu.[1; 2; 3; 34]

1.6.4.3 Tepelné čerpadlo země/voda – energetické piloty

U moderních novostaveb lze využít nízkopotenciální teplo pro TČ z konstrukčního řešení základů budov. Do základů budov jsou vloženy svazky potrubí, kterým se říká energetické piloty, energetické stěny, nebo energetické základy. Tyto systémy jsou možné realizovat jen na novostavby, nelze je dodatečně instalovat na již postavené

objekty. Je potřeba ještě před samotným projektováním stavby zahrnout energetické piloty do stavebních plánů, aby se s nimi počítalo a ostatní věci v základech tomu byly přizpůsobeny. Upravovat hotovou projektovou dokumentaci bez energetických pilot a začlenit tam dodatečně tyto energetické piloty je velmi náročné. Projektování energetických pilot se provádí hlavně tam, kde je nezpevněné zemské podloží. Jde o místa, kde je zvýšená hladina spodní vody a okolí vodních toků. Tyto piloty zajišťují zároveň statiku budovy a slouží jako kotvy výškových budov. Piloty jsou o různé velikosti v rozmezí 12 cm – 120 cm. Hloubka se pohybuje od 3 m do 30 m. Energetické piloty na rozdíl od obyčejných stavebních pilot obsahují smyčku z potrubí, kde koluje nemrznoucí kapalina. Princip je stejný jako u předchozích dvou TČ s využitím jak kolektorů, tak geotermálních vrtů, jen s tím rozdílem, že tady je výměník zabudovaný v betonových pilotech (základech budovy).



Obrázek 1.20 Umístění energetických pilot pod objektem [35]

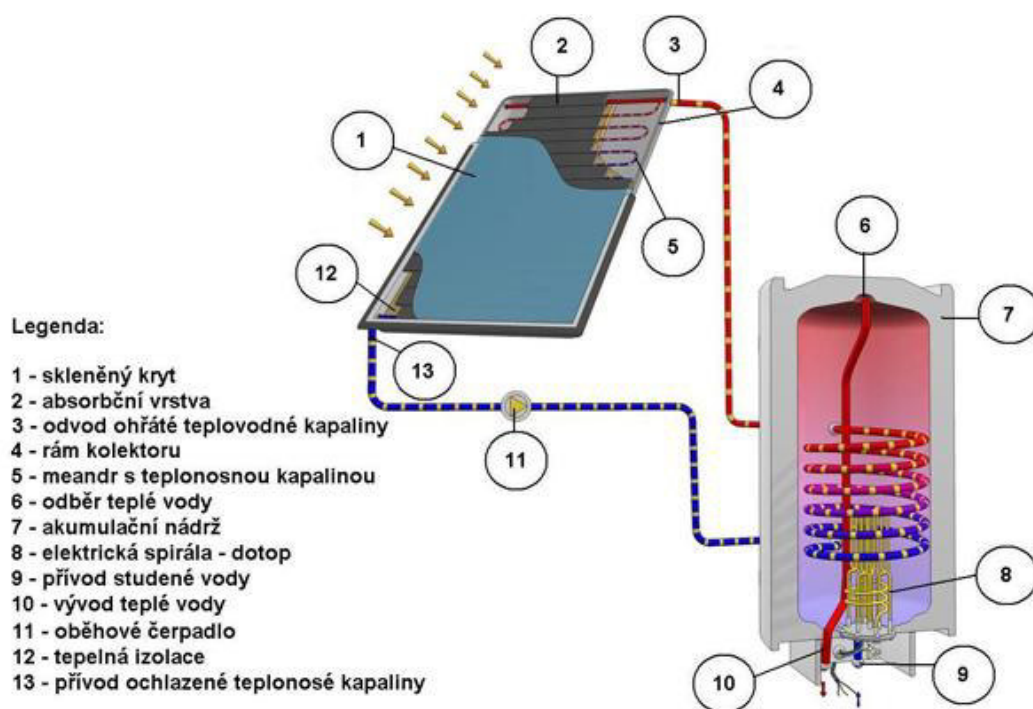
Na obrázku 1.20 je zobrazeno umístění energetických pilot pod budovou, která čerpá energii pro vytápění a ochlazování objektu. V České republice je tento trend spíše pro výškové budovy. Pro rodinné domy se používají nejčastěji TČ země/voda a TČ země/vzduch. [2]

2 SYSTÉMY PRO KOOPERACI S TEPELNÝM ČERPADLEM

V této kapitole jsou popsány prvky, které mohou fungovat v kooperaci s tepelným čerpadlem. Přidáním níže uvedených systémů v různých kombinacích s tepelným čerpadlem můžeme dosáhnout ekologického a nezávislého vytápění domu.

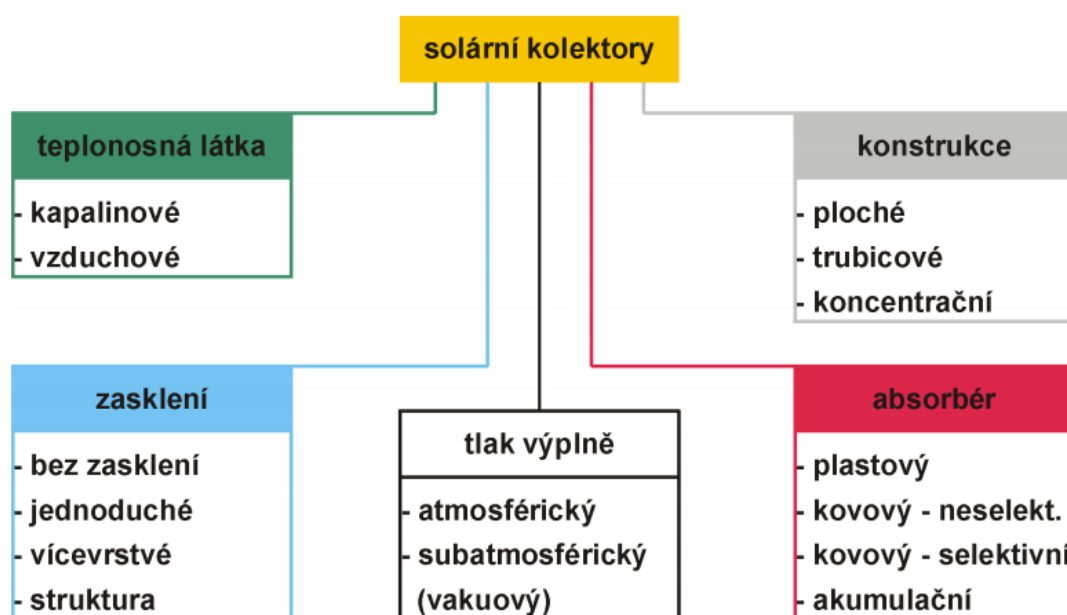
2.1 Solární kolektory

Solární kolektory patří mezi alternativní zdroje energie, protože využívají sluneční záření, které je zadarmo. Absorbují sluneční záření a přemění jeho energii na teplo. Toto teplo se následně předá teplonosné látce (kapalina, vzduch), která přivede teplo přímo na určené místo nebo do tepelného výměníku. Hlavním jejich cílem je absorbovat maximum slunečního záření s nejmenším únikem zpět do prostoru. Intenzita slunečního záření se v Česku pohybuje okolo 620 W/m^2 , teoreticky je tedy možné čerpat 620 J tepla za sekundu na plochu 1 m^2 . Čím větší plochu kolektorů máme, tak tím více tepla přeměnou získáme. Teoretické teplo je získáno za ideálních podmínek, kdy sluneční paprsky dopadají kolmo se 100 % intenzitou záření a nejsou uvažovány ztráty v systému a vliv počasí. V reálném řešení solárních kolektorů musíme uvažovat o vhodném umístění a nasměrování kolektorů, aby byla zajištěna co největší účinnost, to je podrobně popsáno v této kapitole níže. Dále se musí navrhnout celý systém tak, aby měl co nejmenší tepelné ztráty.



Obrázek 2.1 Zapojení solárního kolektoru [36]

Na obrázku 2.1 je schéma zapojení solárního kolektoru k akumulční nádrži. Pro ukázkou je použit plochý deskový solární kolektor. Samotný solární kolektor se skládá z rámu, ve kterém je umístěna na spodní straně absorpční vrstva a na vrchní straně se nachází skleněný kryt. Součástí absorpční vrstvy je meandr s teplotonosnou látkou. **Absorpční vrstva** je vyrobena z měděného, nebo hliníkového plechu, na jehož zadní stranu je nalisován nebo připájen **trubicový meandr**, který vede teplotonosnou látku. Tato vrstva je natřena selektivním spektrálním nátěrem, který absorbuje až 96 % přímého i rozptýleného slunečního záření a minimálně teplo vyzařuje zpět. Na zadní straně kolektoru pod absorpční vrstvou se nachází i tepelná izolace, aby se minimalizovaly tepelné ztráty vycházející z kolektoru. **Skleněný kryt** má za úkol zamezit tepelným ztrátám z vrchní strany kolektoru. Viditelné světlo propustí do kolektoru a přeměněné světlo na dlouhovlnné záření nepropustí ven z kolektoru. Pro výrobu se používá speciální solární sklo s velkou propustností. **Rám kolektoru** musí být vyroben z odolné konstrukce, která bude vystavena vnějším vlivům počasí a musí spolehlivě uchytit kolektor. Pro konstrukci se používá kov, plast nebo dřevo. Na zadní straně kolektoru pod absorpční vrstvou a po obvodu rámu se nachází i tepelná izolace, aby se minimalizovaly tepelné ztráty vycházející z kolektoru. Na horní straně kolektoru je odvod teplotovodné kapaliny z kolektoru, která vede teplo do akumulční nádrže a na spodní straně je přívod ochlazené teplotovodné kapaliny z akumulční nádrže. Vzdálenost mezi solárními kolektory a akumulční nádrží se snažíme vždycky minimalizovat, aby nebyly zbytečné tepelné ztráty dlouhým vedením teplotonosné látky. Trubky mezi akumulční nádrží a solárním kolektorem musí být dobře izolovány, aby byly co nejmenší tepelné ztráty. Akumulční nádrž prochází spirála naplněná teplotovodnou kapalinou, která je ohřátá z kolektoru a následně předá teplo užitkové vodě v nádrži. Tato nádrž je doplněna o elektrickou spirálu, která dohřívá vodu v případě, kdy kolektor nepracuje, například v noci. Mezi kolektorem a nádrží je umístěno oběhové čerpadlo, které je spínané termostatem. Celá tato sestava komponentů se zapojením solárních kolektoru tvoří solární systém. Provozní účinnost kolektorů je přibližně 40 % - 60 %.

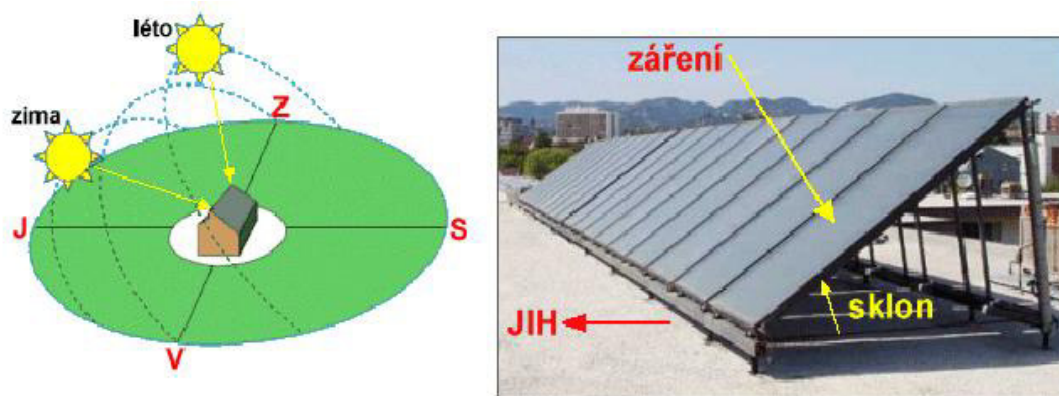


Obrázek 2.2 Rozdělení solárních kolektorů [39]

Na obrázku 2.2 je graficky znázorněno rozdělení solárních kolektorů. Solární kolektory můžeme dělit podle způsobu přenosu tepla na kolektory kapalinové, teplovzdušné a kombinované. Podle zasklení se kolektory rozdělují na jednoduché, vícevrstvé, se strukturou a bez zasklení. Uvnitř kolektorů je buď atmosférický vzduch, nebo vakuum. Kolektory mohou mít různé absorbéry jako je například plastový, kovový a akumulční. Dále je dělíme podle způsobu realizace na ploché, trubicové a koncentrační. Popis kolektorů dělených podle způsobu realizace je v podkapitolách níže. [36; 37; 38; 39]

2.1.1 Montáž solárních kolektorů

Pro správnou funkci solárních kolektorů je potřeba splnit několik podmínek. Kolektory mají většinou nepohyblivou konstrukci, takže při montáži je nutno zvolit kompromisní umístění a splnění následujících podmínek.

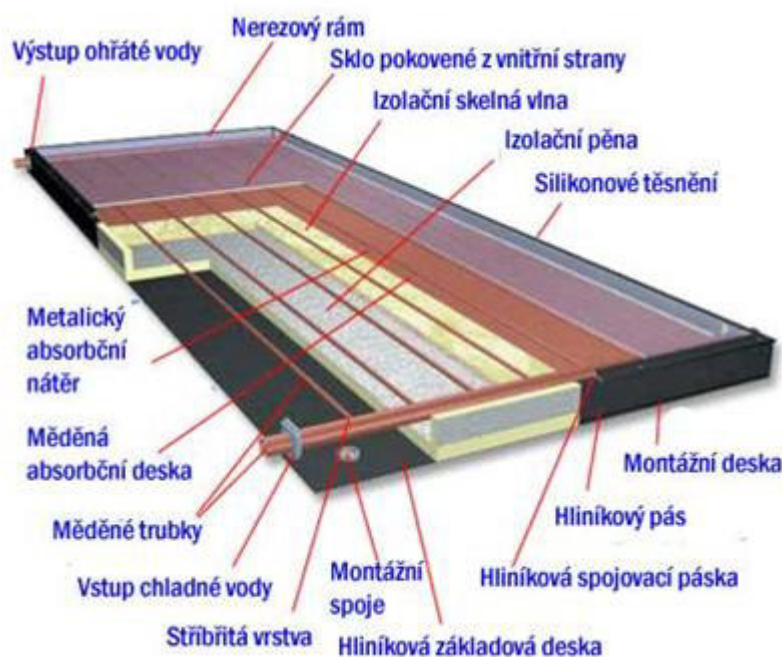


Obrázek 2.3 Umístění solárních kolektorů [37]

Na levé části obrázku 2.3 je zobrazen sklon slunce na závislosti ročního období a na pravém obrázku je umístění kolektoru na střeše budovy. Mezi první podmínku patří dostatečně pevná **konstrukce**, která bude odolná vůči nepříznivým podmínkám počasí. Druhá podmínka je o dodržení **orientace** solárních kolektorů směrem na jih nebo jihozápad, protože v takové orientaci dosáhneme největší intenzity slunečního záření kolem poledne. Třetí podmínka se týká nastavení **sklonu** solárních kolektorů, ale tato podmínka u nepohyblivých konstrukcí solárních panelů nelze úplně splnit. Snažíme se, aby na kolektory dopadalo sluneční záření stále kolmo. Výška slunce, a tedy i směr, odkud jdou sluneční paprsky, se mění během dne i během ročního období. V letních měsících je slunce výš než v zimě a pro sklon kolektoru je ideální 30° od vodorovné roviny. V zimě je vhodný sklon kolektoru okolo 60° . Pro pevné konstrukce solárních kolektorů se volí kompromisní řešení sklonu v rozmezí 35° až 45° . Existují i pohyblivé konstrukce solárních kolektorů, kde je naprogramován krokový motor a solární kolektory se naklání přímo na slunce a pohlcují co největší intenzitu slunečního záření. Tato realizace pohyblivých kolektorů je ovšem hodně nákladná a ekonomická návratnost celého systému se prodlouží o několik let, proto se častěji používají nepohyblivé solární kolektory. [36; 37; 38]

2.1.2 Ploché solární kolektory

Jedná se o nejjednodušší koncepci kapalinového solárního kolektoru. Jeho koncepce je zobrazena na obrázku 2.4. Zadní stranu kolektoru tvoří montážní deska, která má montážní spoje pro uchycení kolektoru. Kolem celé zadní desky je udělán nerezový rám, který drží celou konstrukci kolektoru. Po celé zadní ploše a kolem rámu se nachází izolační pěna a skelná vata, která slouží pro redukci tepelných ztrát solárního kolektoru. Na skelnou vatu je položeno po celé ploše měděné potrubí v mřížovém uspořádání, ve kterém proudí teplonosná kapalina (voda, nemrzoucí směs). Na mřížové potrubí je nalisována nebo připájena měděná absorpční deska, která je natřena absorpčním spektrálním nátěrem. Přední strana kolektoru je osazena solárním sklem, které je pokovené z vnitřní strany. Pokovení zabraňuje odrazům zpátky do atmosféry, a vzniká tak skleníkový efekt a tepelná energie se koncentruje v kolektoru. Sklo musí být dobře zatěsněno silikonovým těsněním. Mezi sklem a absorpční vrstvou je vzduchová mezera. Teplá kapalina je odváděna z boční strany rámu. Studená voda do kolektoru vstupuje také přes rám kolektoru.



Obrázek 2.4 Ploché deskový solární kolektor [40]

Mezi levnější patří neselektivní solární kolektory, které mají kovovou absorpční vrstvu natřenou obyčejným černým nátěrem, od kterého se odráží záření. Tyto neselektivní neabsorbují tolik záření jako selektivní. Více používané a účinnější jsou selektivní solární panely, které mají selektivní spektrální nátěr, který absorbuje až 96 % záření a minimum odrazí zpět z kolektoru.

Výhody plochého solárního kolektoru:

- jednoduchá konstrukce
- nízká pořizovací cena
- v letních měsících vysoká účinnost

Nevýhody plochého solárního kolektoru:

- velké tepelné ztráty v chladném počasí (ohřátá kapalina sluncem je ochlazená studeným vzduchem okolo kolektoru)
- nepřeměnění difusního záření, kdy je slunce za mraky
- při slunných letních dnech hrozí teplota kapaliny nad bod varu, je potřeba odvádět teplo třeba na ohřev bazénu, nebo do akumulární nádrže
- při rozbití skla je nutno vyměnit celý kolektor

Nejčastěji se vyrábí v rozměru 1 m x 2 m. Jeho čistá absorpční plocha je přibližně 1,83 m². Tloušťka kolektoru se pohybuje okolo 10 cm. Cena za 1 m² solárního kolektoru se pohybuje přibližně mezi 3 tis. Kč až 6 tis. Kč. Tyto kolektory mají vhodné využití pro ohřev vody v bazénu nebo pro výhřev vody rekreačního objektu. [39; 40; 41]

2.1.3 Ploché vakuové solární kolektory

Tyto kolektory mají podobnou konstrukci jako ploché solární kolektory popsané v kapitole 2.1.2 nad obrázkem Obrázek 2.4. Hlavní rozdíl spočívá ve vyplněném prostoru kolektoru, který obsahuje vakuum místo vzduchu. To vyžaduje lepší materiály pro konstrukci a preciznější výrobu. Zvedne se tím pořizovací cena tohoto kolektoru.



Obrázek 2.5 Plochý deskový vakuový solární kolektor [40]

Na obrázku 2.5 je zobrazena konstrukce plochého deskového vakuového solárního

kolektoru. Popis konstrukce je stejný jako u obrázku 2.4 jen s pár rozdíly. U konstrukce vakuového kolektoru je jinak vyplněn prostor mezi přední stranou kolektoru a měděnými trubkami než u klasického solárního kolektoru popsaného v předchozí kapitole 2.1.2. U vakuového solárního kolektoru je přidáno dvojsklo, mezi kterým je vytvořeno vakuum. Přes dvojsklo projde záření v plné intenzitě, ale vakuum je dokonalý izolant, a redukuje tak tepelné ztráty ze přední strany kolektoru. Dalším rozdílem od předchozího obyčejného kolektoru je použití jiné tepelné izolace. Používá se zde tepelná izolace z minerální vlny, která je účinnější než skelná vata a izolační pěna. Celková konstrukce musí být zhotovena z lepších materiálů a musí být kladen důraz na izolaci vakua.

Výhody vakuového plochého solárního kolektoru:

- vysoká účinnost v celoročním období při svitu slunce
- přijímá difusní záření, kdy je slunce za mraky
- dokáže ohřát vodu i v mrazivých dnech

Nevýhody vakuového plochého solárního kolektoru:

- vyšší pořizovací cena
- nutné odebírat přebytečné teplo, aby nepoškodilo kolektory
- obtížné udržet vakuum po celé ploše, vznikají tepelné mosty
- při prasknutí skla se musí vyměnit celý kolektor

Na rozdíl od předchozích solárních kolektorů se dá vakuový solární kolektor použít pro celoroční provoz na daném objektu. Může se využívat pro ohřev užitkové vody nebo pro vytápění. Vyrábí se také nejčastěji v rozměru 1 m x 2 m s čistou absorpční plochou přibližně 1,83 m². Tloušťka kolektoru se pohybuje okolo 10 cm. Zisk vakuového kolektoru je o 20 % – 30 % větší než u obyčejného solárního kolektoru. Cena za m² se pohybuje mezi 6 tis. Kč až 12 tis. Kč. Z toho plyne, že pořizovací cena vakuových solárních kolektorů je 2x vyšší než u obyčejných solárních kolektorů. [39; 40; 41]

2.1.4 Trubicové solární kolektory heat - pipe

Jedná se o kapalinový solární kolektor, jehož jádro tvoří dvojstěnná trubice. Celý solární kolektor tvoří několik těchto trubic poskládaných vedle sebe. Mezi stěnami trubic je vakuum, které funguje po celém obvodu trubice jako účinná izolace. Trubicemi protéká nemrznoucí kapalina určená k ohřevu. Tento systém má svůj výměník tepla umístěný v liště nad trubicemi. Nemrznoucí kapalina se zahříváním ze slunečních paprsků změní na páru, která stoupá do kondenzátoru. Následně tam předá teplo teplonosné vodě, tím se pára ochladí a zkondenzuje. Potom zkondenzovaná kapalina steče zpátky do vakuové trubice. Celý proces se pořád opakuje. V trubici se nachází válcový spektrálně selektivní absorbér, a tak může kolektor absorbovat sluneční záření z více úhlů. Díky tomu kolektor pracuje celý den od východu až po západ slunce.



Obrázek 2.6 Trubicový vakuvý solární kolektor heat-pipe [42]

Na obrázku 2.6 je znázorněn trubicový vakuvý solární kolektor heat-pipe. Trubice jsou zasunuty do vrchní společné lišty, která obsahuje výměník tepla. V tomto výměníku tepla předává nemrznoucí kapalina ve formě plynu teplo do otopné soustavy.

Výhody trubicového solárního kolektoru heat - pipe:

- velmi vysoká účinnost bez ohledu na roční období
- používá se nemrznoucí kapalina, nemusí se hlídat zamrznutí teplotnosného média
- kolektor se dokáže sám odstavit z provozu díky vnitřní hydraulice, nemusí se řešit odběr přebytečného tepla
- funguje ráno, večer, v zamračeném počasí i v zimním období
- v případě rozbití trubice stačí vyměnit jednu samostatnou trubici
- o 30 % výkonnější než ploché solární kolektory

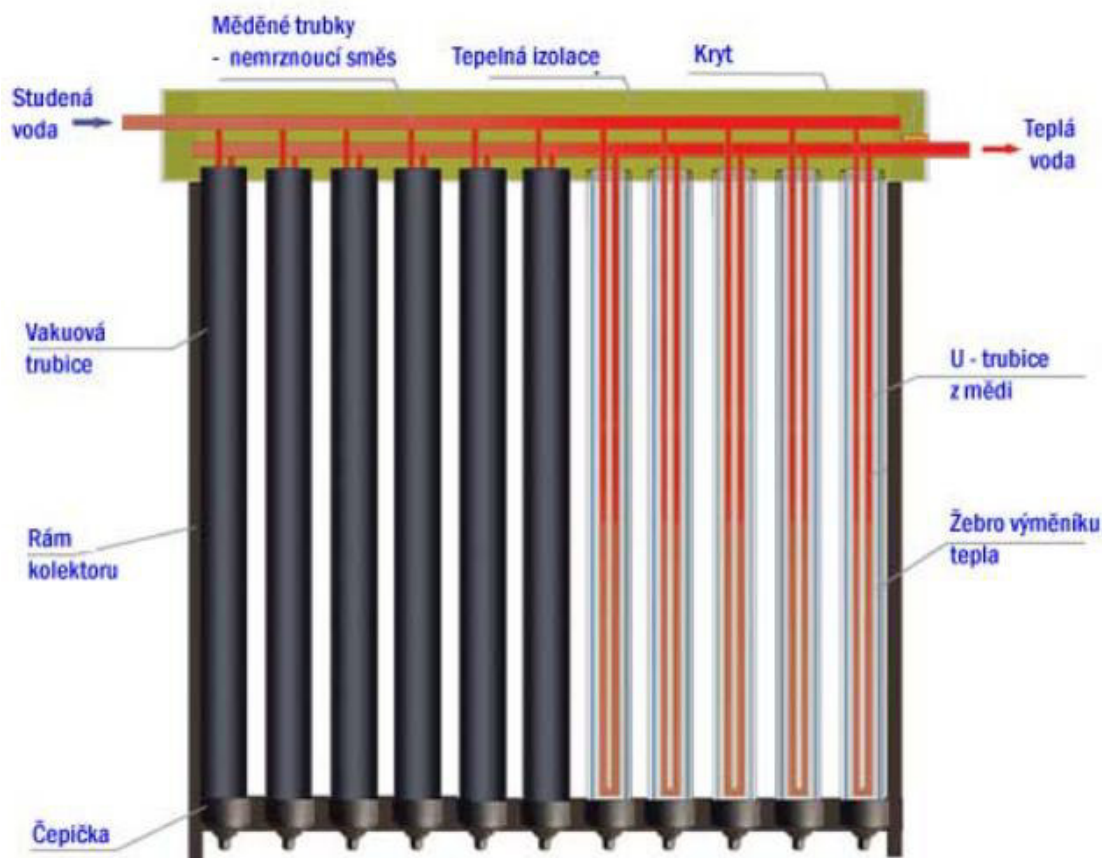
Nevýhody trubicového solárního kolektoru heat - pipe:

- velké pořizovací náklady
- v letním období má menší účinnost než ploché kolektory
- u nekvalitních trubic může dojít k přerušení kontaktu mezi trubicemi a sběrnou lištou, jsou potřeba servisní prohlídky
- častější mechanické poškození
- vyšší hmotnost

Tento typ solárních kolektorů je pro Českou republiku jeden z nejúčinnějších. Dají se používat pro celoroční ohřev vody nebo vytápění. Využívají úhel až 110° pro absorbování slunečního záření. Často bývají nazývány jako kondenzační trubicové kolektory. Cena kolektorů se pohybuje okolo 6 tisíc za m^2 . Jeden kolektor tedy přibližně stojí 10 – 15 tisíc Kč. [39; 40; 42]

2.1.5 Trubicové solární kolektory U – pipe

Trubicové solární kolektory U - pipe vypadají na první pohled stejně jako trubcové kolektory heat – pipe, ale jsou stejné jen z hlediska vnější konstrukce a uspořádání trubek vedle sebe. Hlavním rozdílem je, že ve vakuových trubcích jsou místo jedné měděné trubky dvě měděné trubice spojené „U“ klenbou na spodu vakuové trubice. Tím je zajištěno, že nemrznoucí kapalina projede celou trubicí dolů a zase nahoru. Poté se kapalina ohřeje. Rozdělení trubek na vrchu panelu v listě je trochu rozdílné, a tak se zlepší přenos tepla z nemrznoucí kapaliny do otopné soustavy.



Obrázek 2.7 Trubicový solární kolektory U – pipe [40]

Na obrázku 2.7 je zobrazena realizace trubcového solárního kolektoru U – pipe. Je složen z vrchního sběrače a do něj zasunutých vakuových trubec. Sběračem vedou dvě měděné trubky, kde v jedné trubce proudí ochlazená nemrznoucí kapalina a ve druhé proudí ohřátá nemrznoucí kapalina. Ve sběrači je napojena každá vakuová trubice jedním vývodem na okruh studené nemrznoucí kapaliny a druhým vývodem na okruh ohřáté nemrznoucí kapaliny. Ochlazená nemrznoucí kapalina, která vede z akumulární nádrže do kolektorů, projde každou vakuovou trubicí, tam se následně ohřeje a koluje do akumulární nádrže, kde teplo předá. Ochlazená nemrznoucí kapalina koluje zpátky do kolektorů a celý proces se opakuje dokola. Nemrznoucí kapalinu pohání v systému oběhové čerpadlo. Jádro vakuových trubec se skládá z dvojstěnných trubec, mezi kterými je vakuum. Vakuum slouží jako perfektní izolace a redukuje tepelné ztráty

trubic. Uvnitř trubic je válcový spektrálně selektivní absorbér, který umožní absorbovat sluneční záření ze všech stran. Uvnitř trubic se nachází 2 měděné trubice vedoucí nemrznoucí kapalinu, které jsou na spodu trubice spojeny do „U“. Pod sklem ve vakuu bývá umístěn terčík s chemikálií, která reaguje na přítomnost vzduchu. Pokud je tedy vakuum narušeno, vidíme barevný signál na terčíku. Někdy se za celý kolektor umísťuje odrazová plocha, která zvyšuje účinnost.

Výhody trubicového solárního kolektoru U - pipe:

- primární okruh nemrznoucí kapaliny není spojen s topnou vodou, při poruše se nemusí zasahovat do otopného systému
- nejvyrovnanější výkonová charakteristika ze všech typů solárních kolektorů
- výkon neklesá vlivem stárnutí, nebo zanedbané údržby
- při poškození jedné trubice funguje kolektor dál, stačí vyměnit jen trubici za novou
- o 30 % výkonnější než ploché solární kolektory

Nevýhody trubicového solárního kolektoru U - pipe:

- přesné dimenzování celého otopného systému
- při nedostatečném odběru může dojít k varu nemrznoucí kapaliny, která se přemění na plyn, a kolektor přestane předávat teplo
- křehké sklo, možnost mechanického poškození při nepříznivém počasí

Stejně jako předchozí typ kolektorů heat – pipe se dají tyto U – pipe kolektory používat pro celoroční ohřev vody a vytápění. Je vhodný na všechny typy objektů. Jsou přibližně dvakrát dražší než kolektory heat – pipe, ale mají lepší životnost. [39; 40; 42; 43]

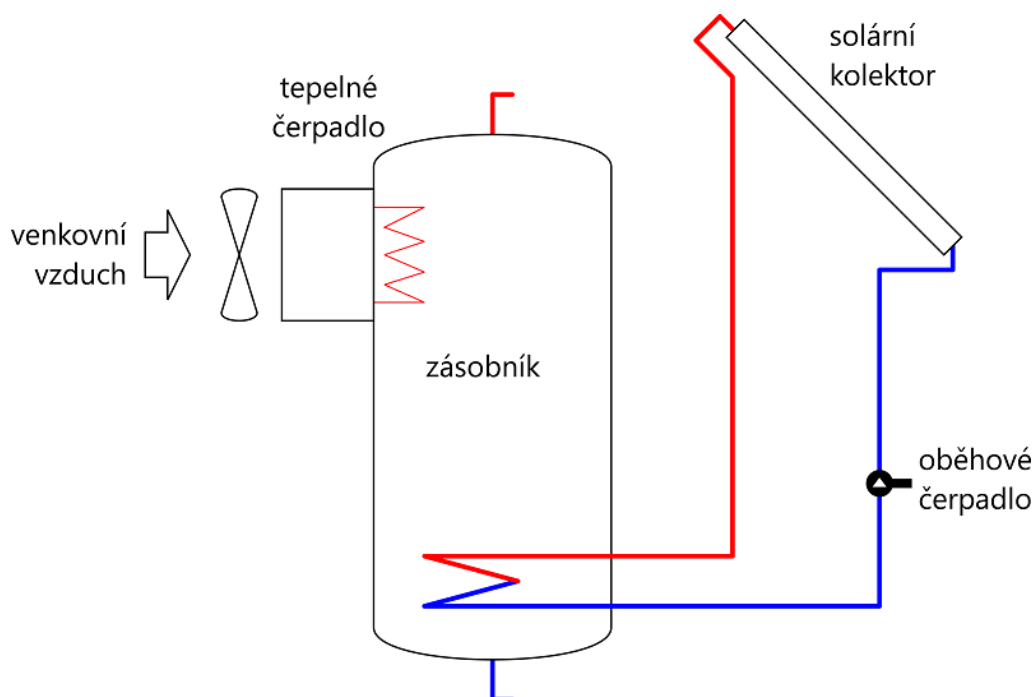
2.1.6 Kooperace solárních kolektorů s tepelným čerpadlem

Solární kolektory jsou jednou z variant pro spolupráci ohřevu vody a vytápění objektu s tepelným čerpadlem. Oba dva systémy patří mezi alternativní zdroje energie, které šetří roční náklady na vytápění objektu a ohřev užitkové vody. Existuje hodně článků a názorů, že tepelná čerpadla se solárními kolektory mají nevýhody, hlavně ohledně ekonomické návratnosti investice. Díky této kombinaci solárních kolektorů s tepelným čerpadlem lze využít maximální dostupné dotace od státu. Dotace nám sníží ekonomickou návratnost i o několik let. Podrobnější informace o dotacích a jejich podmínkách jsou popsány v samostatné kapitole. Další příznivější faktor je klesající cena obou technologií, tím se rovněž zlepšuje ekonomická návratnost. Kombinací solárních kolektorů s tepelným čerpadlem se začalo zabývat mnoho firem a organizací, a vznikají tak různé patenty a publikace na tyto systémy. V současné době se na trhu objevuje přibližně okolo 130 komerčně vyráběných systémů, kde je tepelné čerpadlo v kooperaci se solárními kolektory.

Existuje mnoho variant tepelných čerpadel a solárních kolektorů, protože oba systémy mají společné využívané médium vodu, nebo vzduch. Běžnější kombinace je tepelné čerpadlo a solární systém, který využívá nemrznoucí směs jako médium. Hlavní rozdělení v kooperaci tepelného čerpadla a solárních kolektorů je na sériové a paralelní zapojení. [44; 45]

2.1.6.1 Paralelní zapojení TČ a solárních kolektorů

V paralelním zapojení tepelného čerpadla a solárních kolektorů pracují oba systémy nezávisle na sobě. Například při slunném dni stačí chod pouze solárních kolektorů, které nahřívají akumulční zásobník, kde se nachází ohřátá voda. V momentě, kdy solární kolektory nezvládají pokrýt potřebu teplé vody, se sepne tepelné čerpadlo.

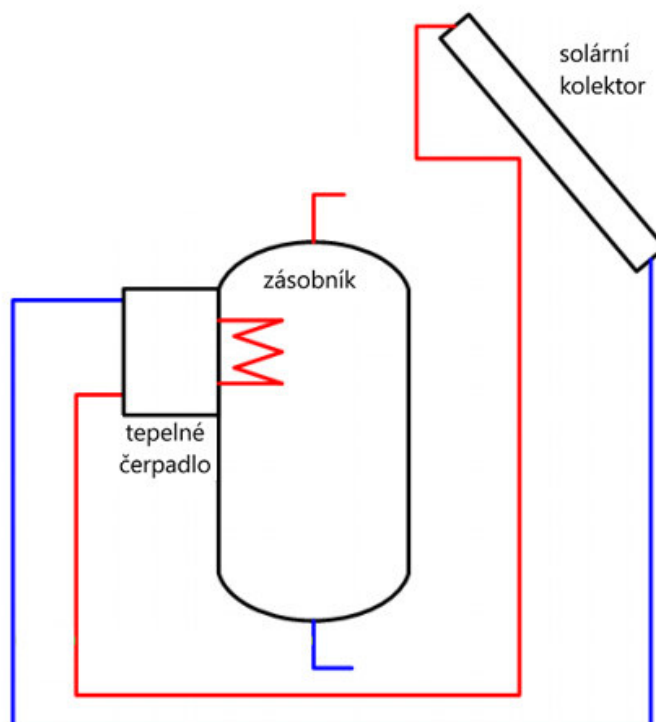


Obrázek 2.8 Paralelní zapojení tepelného čerpadla a solárního kolektoru [44]

Na obrázku 2.8 je zobrazeno schéma paralelního zapojení tepelného čerpadla typ vzduch/voda a solárního kolektoru. Solární kolektory jsou nejčastěji umístěny na střeše budovy a izolovanými trubkami vedou nemrznoucí ohřátou kapalinu do akumulční nádrže, která se nachází buď v technické místnosti, koupelně, nebo garáži daného objektu. Tepelné čerpadlo má umístěnou venkovní jednotku vedle objektu, nebo na střeše a je napojeno na stejný akumulční zásobník uvnitř objektu. Systémy fungují buď každý zvlášť, nebo současně. Záleží na dimenzování daného návrhu systému. Každý prvek systému (tepelné čerpadlo, akumulční nádrž, solární kolektor) má své teplotní čidlo pro efektivní řízení jejich činnosti. Dále je umístěno teplotní čidlo uvnitř objektu a mimo objekt. Řídící jednotka pak podle nasbíraných dat z teplotních čidel řídí tepelné čerpadlo a oběhové čerpadlo solárních kolektorů. Oběhové čerpadlo je umístěno na vedení s ochlazenou nemrznoucí kapalinou mezi akumulční nádrží a solárním kolektorem. [44]

2.1.6.2 Sériové zapojení TČ a solárních kolektorů

Solární kolektory jsou v sériovém zapojení využity jako zdroj tepla pro tepelné čerpadlo. Solární kolektor může pracovat mírně nad teplotou okolního vzduchu a může být použit obyčejný neselektivní absorbér bez krycího skla. Slabší solární kolektor ohřeje nemrznoucí kapalinu, která je dostačující jako zdroj pro tepelné čerpadlo.



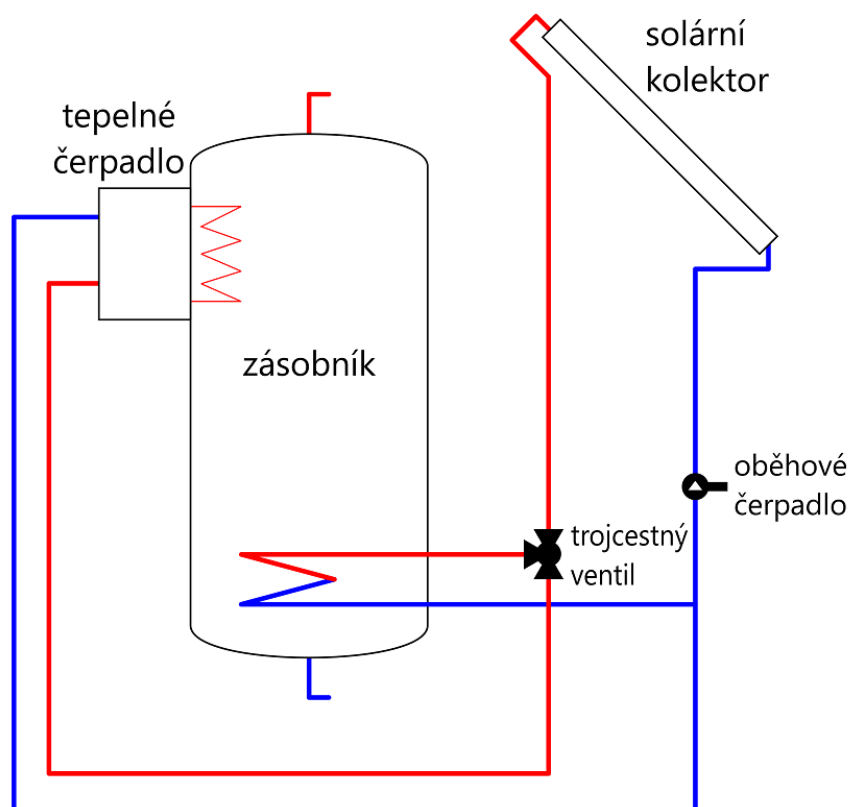
Obrázek 2.9 Sériové zapojení tepelného čerpadla a solárního kolektoru [44]

Na obrázku 2.9 je sériové schéma zapojení tepelného čerpadla a solárního kolektoru. Solární kolektor je umístěn na střeše objektu a ohřívá nemrznoucí kapalinu, která se vede do vstupu tepelného čerpadla umístěného uvnitř vytápěného objektu. V tomto případě je použito tepelné čerpadlo voda/voda. Na solární kolektor nejsou kladeny vysoké požadavky. Stačí, když kolektor ohřeje nemrznoucí kapalinu na teplotu vyšší než je okolní venkovní vzduch. Nízkopotenciální teplo ze solárního kolektoru je převedeno pomocí tepelného čerpadla na teplo s vyšším potenciálem využitelným pro ohřev teplé vody nebo pro vytápění objektu. Ochlazená nemrznoucí kapalina z tepelného čerpadla putuje zpátky do solárního kolektoru a tam se následně ohřeje. Cyklus se opakuje stále dokola. Pro řízení systému je použito oběhové čerpadlo, které je ovládáno řídicí jednotkou na základě teplotních čidel umístěných na každém komponentu systému (tepelné čerpadlo, solární kolektor, akumulční zásobník). Tepelné čerpadlo je napojeno na akumulční zásobník, ve kterém ohřívá vodu použitelnou pro objekt. Solární kolektor zvyšuje tepelnému čerpadlu jeho topný faktor, protože teplota nemrznoucí kapaliny na výstupu solárního kolektoru má vyšší teplotu než okolní vzduch. U tohoto zapojení platí pravidlo, že oba komponenty pracují s vyšší účinností, než kdyby fungoval každý sám nezávisle na sobě. [44]

2.1.6.3 Sério – paralelní zapojení tepelného čerpadla se solárními kolektory

Sério – paralelní zapojení je jedno z nejpoužívanějších konceptů v dnešní době. Jedná se o kombinaci dvou předchozích zapojení tepelného čerpadla se solárními kolektory.

Solární kolektor v tomto případě může fungovat jako samostatný zdroj pro ohřev vody v akumulčním zásobníku, nebo jako zdroj pro tepelné čerpadlo. To je řízeno trojcestným ventilem.



Obrázek 2.10 Sérió - paralelní zapojení tepelného čerpadla a solárního kolektoru [44]

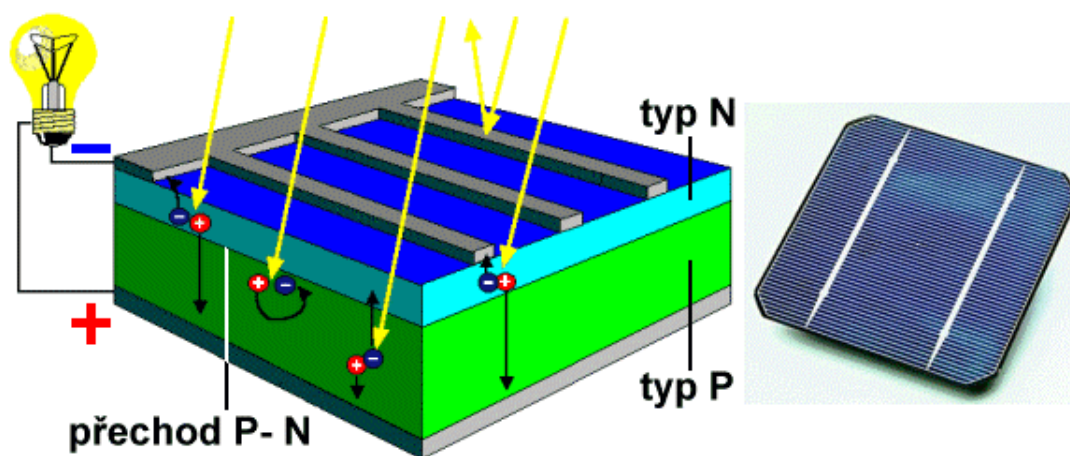
Na obrázku 2.10 je zobrazeno sério – paralelní zapojení tepelného čerpadla a solárního kolektoru. Jedná se o kombinaci dvou předchozích zapojení, která jsou popsána v kapitolách 2.1.6.1 a 2.1.6.2. Solární kolektor je umístěn na střeše budovy a tepelné čerpadlo s akumulací nádrží jsou umístěny uvnitř objektu. V případě slunných letních dnů stačí pro ohřev teplé užitkové vody pouze ohřev ze solárních kolektorů. V tomto případě je tepelné čerpadlo vyřazeno z provozu a trojcestný ventil nastaven tak, aby oběh byl uzavřen jen v rámci akumulací nádrže a solárních kolektorů. Průtok nemrznoucí kapaliny zajišťuje oběhové čerpadlo. Kolektor dokáže ohřát vodu v letním období na teplotu přibližně 50 °C. V případě nepříznivých klimatických podmínek, kdy solární kolektor nestíhá pokrýt spotřebu teplé užitkové vody a vytápění objektu, se spíná tepelné čerpadlo. Trojcestný ventil se přesměruje a solární kolektor v ten moment funguje jako zdroj nízkopotenciálního tepla pro tepelné čerpadlo. Pro komfortnější bezstarostný provoz tepelného čerpadla se solárními kolektory je do systému zabudována řídicí jednotka. Tato jednotka je napojena na teplotní čidla umístěné na všech komponentech daného systému (tepelné čerpadlo, akumulací nádrž, solární kolektory) a vyhodnocuje, jak bude systém nejefektivněji fungovat za pomoci nastavení trojcestného ventilu a oběhového čerpadla. [44; 46]

2.2 Fotovoltaické elektrárny

Dalším obnovitelným zdrojem, který může spolupracovat s tepelným čerpadlem, jsou fotovoltaické elektrárny. Ty jsou složeny ze skupiny FV panelů, které přeměňují sluneční záření na elektrickou energii (stejnoseměrný proud, stejnosměrné napětí) za pomoci fotovoltaického jevu. Protože je v elektrické síti střídavý proud, tak se musí k těmto panelům, které vyrábí stejnosměrný proud, zařadit střídač, který převede stejnosměrný proud na střídavý. Tento střídavý proud se pak může použít například pro napájení kompresoru tepelného čerpadla nebo pro ohřev vody pomocí elektrických topných těles zapojených v akumulární nádrži. V této kapitole se píše o běžně dostupných a používaných krystalických FV panelech. Existují i další tenkovrstvé a vícevrstvé panely, které mají využití ve specializovaném odvětví jako je například armáda, letectví a vesmír. Používají se tam pro výrobu dražší méně dostupné materiály. Tyto méně běžné tenkovrstvé FV panely nebudou v této práci zmiňovány. [47]

2.2.1 FV články

Fotovoltaický článek je ve své podstatě jako polovodičová dioda. Základní vrstva je tvořena tenkou křemíkovou vodivostí typu P. Na tuto desku se vytvoří při výrobě další tenká deska s vodivostí typu N. Vrstva P je anoda a vrstva N katoda. Obě vrstvy jsou odděleny P-N přechodem, který propouští proud jen jedním směrem. Ve vrstvě typu N je přebytek elektronů, ve vrstvě typu P je jich nedostatek a tato vrstva má přebytek kladně nabitých děr. Potenciálová bariéra na P-N přechodu zabraňuje volnému přechodu elektronů v závěrném směru. Přebývající elektrony ve vrstvě typu N nemůžou volně přejít do vrstvy typu P, kde je jich nedostatek. Elektrony se v závěrném směru nemůžou spojit s volnými dírami a nemůžou rekombinovat. Přechod elektronů je umožněn jen v propustném směru P-N přechodu.



Obrázek 2.11 Fotovoltaický článek [47]

Na obrázku 2.11 je zobrazen fotovoltaický článek, na který dopadá sluneční záření. Dopadem fotonů na plochu FV článku vznikne vnitřní fotoelektrický jev, z krystalových mříží obou vrstev jsou uvolňovány elektrony, které se hromadí ve vrstvě N. Na rozhraní P-N přechodu vzniká elektrické napětí 0,5 - 0,6 V. Pro uvolnění elektronu z krystalové mřížky je potřeba, aby energie dopadajícího fotonu byla minimálně 1,12 eV, což je

minimální energie pro překonání hladiny zakázaného pásu. Energie fotonu je závislá na vlnové délce záření. Energii 1,12 eV odpovídá infračervené záření s vlnovou délkou přibližně 1105 nm. Pokud dopadá záření o kratší vlnové délce s větší energií, tak se vytvoří pár elektron - díra a zbylá energie se přemění na nežádoucí teplo. Naopak fotony s větší vlnovou délkou nejsou křemíkem absorbovány a prochází dál. [47; 49]

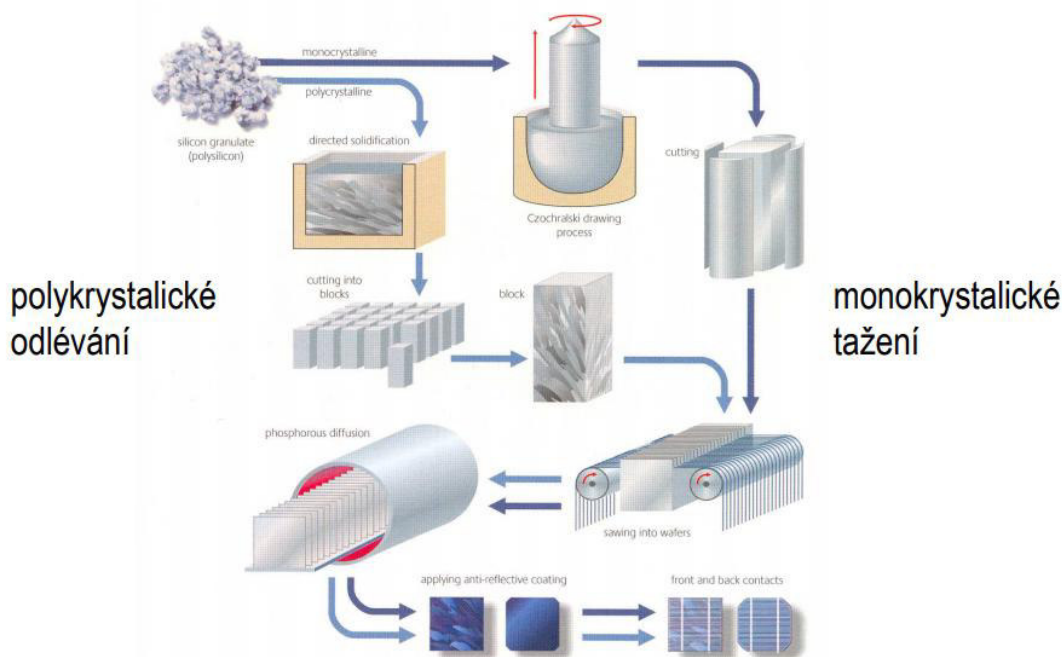
2.2.1.1 Materiál pro výrobu FV článků

Nejpoužívanějším materiálem pro výrobu FV článků je křemík. V elektrotechnice je to velmi používaný prvek s rozsáhlým využitím. V přírodě nenajdeme čistý křemík pro použití v elektrotechnice, a proto si ho vyrábíme. Pro FV články používáme polykrystalický a monokrystalický křemík.

Polykrystalický křemík vyrábíme chemickou metodou (například Siemensova metoda). Jedná se o takzvané polykrystalické odlévání. Dosahují vyšší účinnosti při nižší intenzitě záření. Účinnost se pohybuje mezi 15 % – 17 %. Cenově jsou dostupnější než monokrystalické křemíky. Životnost se pohybuje mezi 10 až 25 lety.

Monokrystalický křemík se vyrobí řízenou krystalizací taveniny (Czochrálského metoda). V tomto případě mluvíme o monokrystalickém tažení křemíku. Má vyšší účinnost při vyšší intenzitě záření. Účinnost se uvádí přes 20 %. Životnost se pohybuje mezi 25 až 30 lety.

Další materiál použitelný pro FV články je arsenid galia. Má vyšší účinnost než křemíkové články, přibližně okolo 29 %. Jeho výrobní cena je mnohem vyšší. Články mají větší hustotu a jsou křehčí. Tento typ článků je odolný vůči kosmickému záření a je používán především ve vesmírných družicích.

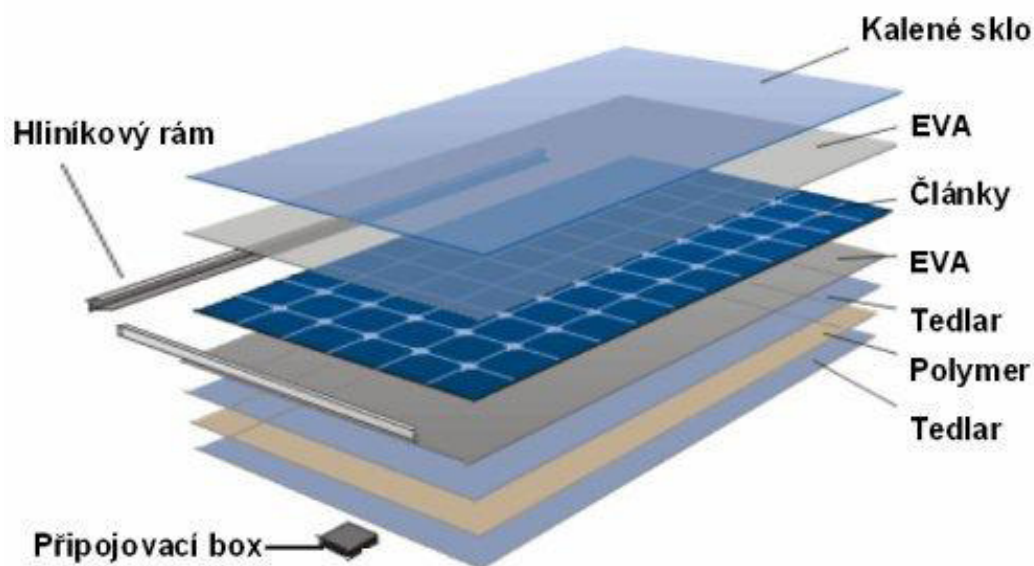


Obrázek 2.12 Výroba polykrystalického a monokrystalického FV článku [49]

Na obrázku 2.12 je zobrazena výroba monokrystalického a polykrystalického FV článku. Jak již bylo zmíněno, tak monokrystalický křemík se vyrábí Czochrálského metodou tažením křemíku. Polykrystalický křemík se vyrábí chemickou metodou polykrystalického odlévání. Vyrobené monokrystalické a polykrystalické křemíky se ořežou na kvádry. Od této fáze procesu už je výroba stejná. Následuje řezání kvádrů na velmi tenké čtvercové destičky. Následně jsou nařezané desky upraveny odleptáním a chemickým opracováním. Přechod P-N se vytváří difúzí fosforu ve vzdálenosti 0,2 – 0,5 μm od povrchu. Fosforsilikátové sklo vzniklé difúzí fosforu se musí odstranit z povrchu. Následně je vytvořena antireflexní vrstva za pomoci chemické látky TiO_2 . Sítotiskem pomocí pasty jsou zhotoveny kontakty sběrnice na přední a zadní straně panelu. Pasta se následně vypálí, vysuší a odstraní se povrchový zkrat na hranách článků. Následně se každý FV článek musí změřit a zkontrolovat speciální kamerou, která odhalí i μm vady. [47; 48; 49]

2.2.2 FV panely

Fotovoltaický panel je samostatný modul složený obvykle z 60 nebo 72 fotovoltaických článků z krystalického křemíku. Fotovoltaické články jsou sério - paralelně spojeny. Při sériovém spojení se sčítá napětí a při paralelním spojení sčítáme proud. Výkon FV panelů se udává v jednotkách Watt peak (Wp). Je to takzvaná největší hodnota výkonu (peak) změřená za ideálních podmínek, kdy je nestíněné světelné záření, které dopadá kolmo na panel. Dále je uvažována ideální teplota a čistý FV panel. Výkon panelu při polojasném počasí je 35 %, při zatažené obloze je výkon pouhých 10 %. Vyrábí se nejčastěji s nominálním napětím 12 V, 24 V, 36 V a 48 V.



Obrázek 2.13 Konstrukce FV panelu [50]

Na obrázku 2.13 je znázorněna konstrukce FV panelu. Celou konstrukci drží hliníkový, nebo duralový rám. Jeho spodní deska je tvořena dvěma speciálními plasty nazývanými Tedlar, mezi nimiž je umístěna deska z polymeru. Následuje umístění světlopropustného gelu Ethylen-vinyl acetát (EVA). Poté jsou umístěny FV články,

kteře jsou křyté zase světlopropustným gelem (EVA). Horní strana FV panelu je pokřyta speciálním tvrzeným kaleným sklem. [47; 49; 50]

2.2.3 Základní prvky FV elektrárny

Mezi základní prvky fotovoltaické elektrárny patří FV panely, které jsou popsány v kapitole 2.2.2. Samotné FV panely nám nestačí pro výrobu elektrické energie. Jsou použity další prvky, jako jsou: akumulátory, regulátory nabíjení, střídače/měniče, spojovací elektroinstalační materiál. [47; 51]

2.2.3.1 Akumulátory

Pokud nepotřebujeme využít ihned elektrickou energii z FV panelů, tak si ji můžeme uskladnit. Jelikož FV panely vyrábějí stejnosměrný proud, tak jím lze nabíjet elektrochemické akumulátory. V akumulátoru se uloží stejnosměrná elektrická energie pomocí vratných chemických procesů. Nejznámější typy akumulátorů jsou: olověné, nikl - kadmiové, nikl - metalhydriodové a lithium - iontové. Mezi nejlevnější patří olověné akumulátory, které se používají ve FV elektrárnách. Olověný akumulátor obsahuje dvě deskové elektrody. Když je baterie nabitá, tak se záporná deska skládá z čistého olova a druhá kladná deska je z oxidu olovnatého. Desky jsou obklopeny elektrolytem. Elektrolyt se podílí jak na nabíjení, tak vybíjení akumulátoru, takže podle jeho koncentrace lze určit stav nabití akumulátoru. Hlavním parametrem akumulátoru je kapacita, která udává, jaké množství elektrického proudu lze odebírat až do vybití akumulátoru. Parametr je uveden v ampérhodinách (Ah). [51]

2.2.3.2 Regulátory nabíjení

Regulátor je spojovací článek mezi FV panely, akumulátorem a spotřebičem. Řídí proces nabíjení a vybíjení akumulátoru. Má tři hlavní funkce:

- 1) V případě, kdy je akumulátor nabitý, musí regulátor odpojit FV panely od akumulátoru, nebo omezit nabíjecí napětí.
- 2) Regulátor musí zabránit zpětnému proudu do FV panelů. Akumulátor se nesmí vybíjet přes FV panely. Za tmy se FV panely chovají jako spotřebič a odebírají proud.
- 3) Musí chránit akumulátor před úplným vybitím. Pokud se sníží napětí na minimální hodnotu, tak regulátor odpojí baterii od spotřebiče.

Regulátory obsahují moderní mikroprocesory, které sbírají informace pomocí čidel měřících potřebné veličiny (napětí, proudy, kapacity). Regulátory se používají v systémech, kde nejsou akumulátory. Slouží pro regulaci výstupního napětí z FV panelů, které kolísá a není ustálené. Dále plní řízení provozu a ochrannou funkci. Regulátor může obsahovat i sledování bodu maximálního výkonu (MPPT). [47; 51]

2.2.3.3 Střídač

Slouží pro převod stejnosměrného napětí na střídavé. Převod stejnosměrného napětí na střídavé je realizované elektronicky pomocí výkonných tranzistorů, které zapínají a vypínají proud s frekvencí 20 000 krát za sekundu. Stejnosměrný proud je pak možné

pomocí transformátoru převést na vyšší výstupní napětí. Využíváme dva typy střídačů podle principu zapojení v objektu:

- 1) Izolované střídače nenastavují frekvenci a napětí, protože vyrábí střídavý proud pouze pro izolovanou síť oddělenou od rozvodné sítě.
- 2) Střídače paralelní se používají pro FV panely spojené s rozvodnou sítí. Nastaví se na frekvenci 50 Hz a 230 V a elektrický proud je synchronně nastaven do rozvodné sítě.

Střídače dosahují účinnosti až 95 % ve velkém pracovním rozsahu. Funguje i jako ochrana proti zkratu, protože se při zkratu automaticky vypne a chrání tím ostatní prvky FV systému. Při přetížení sítě odpojí spotřebiče od sítě, a zabráni tak jejich poškození. [47; 51]

2.2.3.4 Ostatní prvky FV elektráren

Mezi ostatní materiály pro FV elektrárny patří spojovací elektroinstalační materiál a ochranné prvky. Jističe chrání elektrickou síť proti zkratu a napěťové svodiče slouží pro ochranu proti úderu blesku (přepětí v síti). Jako spojovací materiál jsou použity vodiče odolné vůči UV záření s dvojitou izolací a průřezem 4 – 6 mm². Dále se používají vodiče odolné konektory MC4. Podle způsobu připojení FV elektrárny může systém obsahovat také různé speciální elektroměry, takzvané čtyřkvadrantní. Ty dovedou počítat jak dodanou energii odběrným místem, tak i spotřebovanou energii odběrným místem. To se používá u FV elektráren, které dodávají elektrickou energii i mimo objekt do distribuční elektrické sítě. [47; 51]

2.2.3.5 Umístění FV panelů

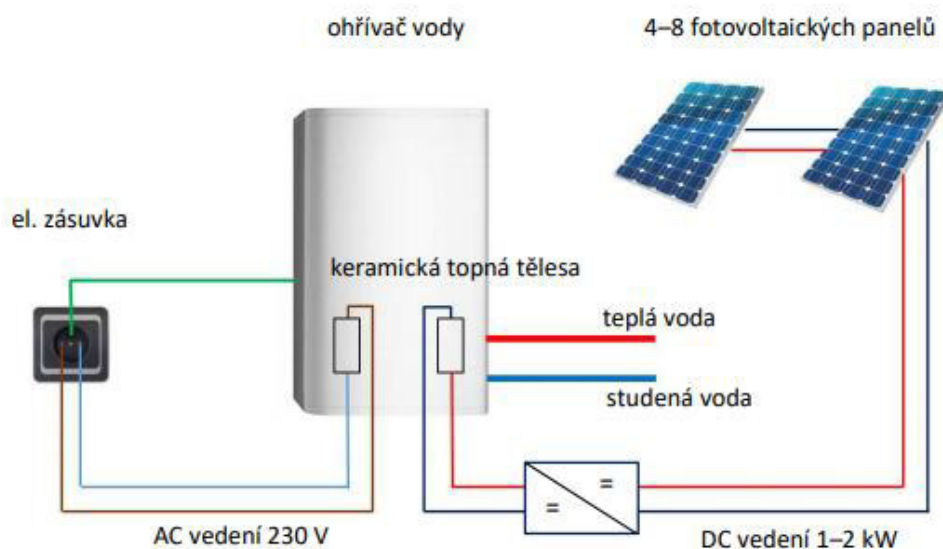
Fotovoltaické panely potřebují pro největší účinnost, aby sluneční záření dopadalo kolmo na FV panel. Pro Českou republiku je ideální sklon panelů 35 ° - 45 ° od vodorovné osy FV panelů. Orientace se směřuje na jih. Maximální odklon panelů je udáván 10 ° - 15 ° na západ. Vzdálenost řad FV panelů by měla být minimálně 2,7 násobek plochy panelů, aby nedocházelo k jejich zastínění, když je slunce nízko při východu a západu slunce. Umístění FV panelů je stejné jako umístění solárních kolektorů, které je popsáno v kapitole 2.1.1. V této kapitole je popsána závislost polohy slunce na obloze vůči změně ročního období a denního času. [51]

2.2.4 Kooperace FV systému s tepelným čerpadlem

Fotovoltaické elektrárny mohou s tepelným čerpadlem spolupracovat dvěma způsoby. První způsob je připojení FV panelů přímo k elektrickému ohřívači umístěnému v akumulární nádrži. Tepelné čerpadlo v tomto případě sepne, když elektrické ohřívače vody nestíhají pokrýt spotřebu teplé vody. Tento způsob je levnější, protože nemusíme používat nutné prvky pro FV elektrárnu, FV panely jsou napojeny přímo na elektrický ohřívač. Druhým způsobem je zapojení FV elektrárny na objekt, který bude sloužit jako zdroj pro tepelné čerpadlo. Elektrický proud dodaný z FV elektrárny napájí kompresor tepelného čerpadla a všechny jeho elektrické součásti (regulátory, řídicí jednotku, čidla). Pokud FV elektrárny nestíhají dodávat elektrickou energii pro potřebu tepelného čerpadla a akumulátory už jsou vybité, tak se přepne odběr z distribuční sítě. [51]

2.2.4.1 FV panely pro elektrické ohřívače vody

Jedná se o přímé využití elektrické energie vyrobené z FV panelů pro ohřev vody pomocí elektrických ohřívacích těles. Vyrobená elektřina je spotřebována přímo na místě spotřeby. Proto nejsou potřeba žádná povolení k odběru elektřiny a žádné další zařízení používané pro FV elektrárnu (akumulátory, střídače).



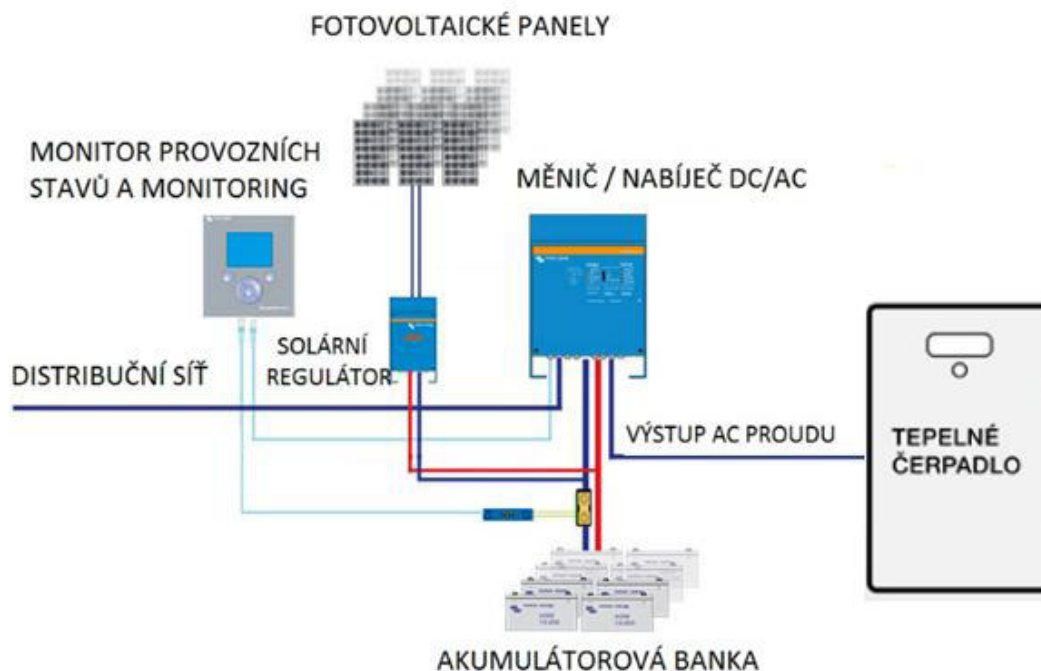
Obrázek 2.14 Zapojení FV panelů pro ohřev vody [51]

Na obrázku 2.14 je zobrazeno přímé propojení FV panelů k elektrickým ohřívačům vody. FV panely jsou umístěny na střeše budovy. Elektrický proud je vedený stejnosměrným vedením s maximálním výkonem 1 – 2 kW. Elektrický ohříváč vody je současně napájen i střídavým proudem z distribuční sítě. Ohříváč se může napájet z obou zdrojů současně, nebo může každý zvlášť. Mezi FV panely a ohříváčem vody musí být zařazen MPPT regulátor pro výkonové přizpůsobení odporové zátěže topného tělesa. Ohříváč vody je napojen na akumulární nádrž, na kterou je napojeno i tepelné čerpadlo. V případě, že FV panely nepokryjí ohřev vody, přichází na řadu tepelné čerpadlo. V extrémních mrazech, kdy nemůže běžet tepelné čerpadlo, se dá přepojit ohřev na elektrickou energii z distribuční sítě. Vytápět dům a ohřívat vodu pomocí elektrické energie ze sítě je ale hodně finančně nákladné. Tento systém je schopen ohřívat vodu až na 75 °C. Tato koncepce zapojení FV panelů je jednoduchá a úsporná. Finanční návratnost u tohoto systému je pouhých 7 let, protože se nemusí investovat do akumulátorů, které bývají nejdražší ve FV systémech a navíc mají krátkou životnost. [51]

2.2.4.2 FV panely pro napájení tepelného čerpadla

V tomto případě jsou FV panely zapojeny do FV elektrárny. Vyrobenou elektrickou energii napájíme tepelné čerpadlo. Jedná se o nejúčinnější zhodnocení elektrické energie. Z 1 kWh elektrické energie lze pomocí tepelného čerpadla získat až 5 kWh tepelné energie. V tomto konceptu zapojení je tepelné čerpadlo hlavním zařízením pro

vytápění domu a ohřev teplé užitkové vody. Může být doplněno záložním zdrojem ohřevu vody a vytápění, například elektrickým kotlem.



Obrázek 2.15 Zapojení FV elektrárny pro tepelné čerpadlo [52]

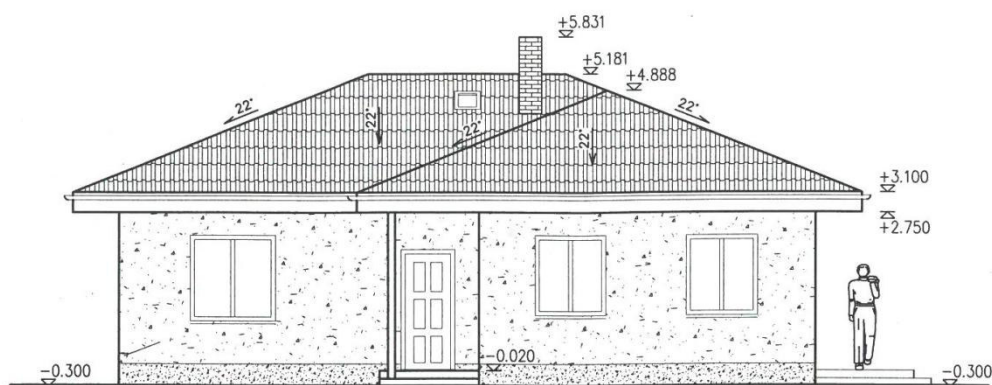
Na obrázku 2.15 je schéma zapojení FV elektrárny určené pro napájení tepelného čerpadla. Jádrem FV elektrárny je akumulátorová banka, která uchovává elektrickou energii vyrobenou FV panely a předává ji dál do tepelného čerpadla. Mezi FV panely a akumulátorovou bankou se nachází solární regulátor a střídač (měnič). Solární regulátor, často nazývaný MPPT regulátor, nám zajišťuje stálý výkon elektrické energie, který je přímo na výstupu FV panelů velmi proměnlivý. Hlavní spojka celého zapojení je hybridní měnič. Je spojen s distribuční sítí, akumulátorovou bankou a tepelným čerpadlem. Tento měnič hlídá pomocí monitoru provozních stavů, jaká je kapacita akumulátorů. Primárně je tepelné čerpadlo napájeno z akumulátorové banky. Poté, co jí dojde kapacita, měnič přepne odběr pro tepelné čerpadlo přímo z distribuční sítě. Kdo má velkou FV elektrárnu, tak může využívat elektrickou energii čerpanou z FV panelů i pro potřebu domácnosti (spotřebiče). To je ale mnohem nákladnější realizace. Nejdražší položkou je akumulátorová banka, která má omezenou životnost přibližně na 5 – 10 let při použití olověných akumulátorů. Jsou i akumulátory, které mají životnost 30 let, ale ty jsou 4 násobně dražší. Pro použití FV elektrárny v kooperaci s tepelným čerpadlem se dají čerpat dotace, které zlepší ekonomickou návratnost. [52; 53]

3 PRAKTICKÁ ČÁST

Třetí kapitola se zabývá popisem rodinného domu, který slouží pro realizaci návrhu ekologického vytápění. Je zde popsána základní charakteristika a potřebné údaje vybraného domu. Jsou zde uvedeny i klimatické údaje místa, kde je dům postaven. Všechny výkresy v této kapitole jsou převzaty z projektové dokumentace domu.

3.1 Popis rodinného domu

Pro návrh je vybrán rodinný dům v obci, která se nachází v okrese Brno - venkov v Jihomoravském kraji.



Obrázek 3.1 Rodinný dům pro návrh ekologického vytápění

Na obrázku 3.1 je rodinný dům, který je použit pro výpočet tepelných ztrát a návrh ekologického vytápění. Jedná se o volně stojící jednopodlažní dům, který má rozlohu 113,28 m². Celková podlahová plocha je 87,62 m². Dům je nepodsklepený a v půdním prostoru se nachází pouze izolace a střešní konstrukce. Přední štít domu je situován na východ. Sklon střechy je 22 ° a její část situovaná na jih má rozlohu 25,5 m² a je vhodná pro instalaci solárních kolektorů, popřípadě FV panelů. Dům je primárně vytápěn

pomocí elektrokotle, který ohřívá i užitkovou vodu. Dům je postavený převážně z cihel a jeho obvodové zdi mají tloušťku 55 cm.

3.1.1 Dispoziční rozdělení

Jedná se o stavbu s jednou bytovou jednotkou. Dům má celkově 9 místností. Vstup do domu je přímo do zádveří (101) a odtud do chodby (103). Z této chodby (103) je přístupný obývací pokoj s kuchyní (108+109), ložnice (107), dva pokoje (104 a 105) a koupelna (106). Ze zádveří (101) je přístupné WC (102), kde je zároveň i technická místnost s elektrokotlem a zásobníkem na TUV.

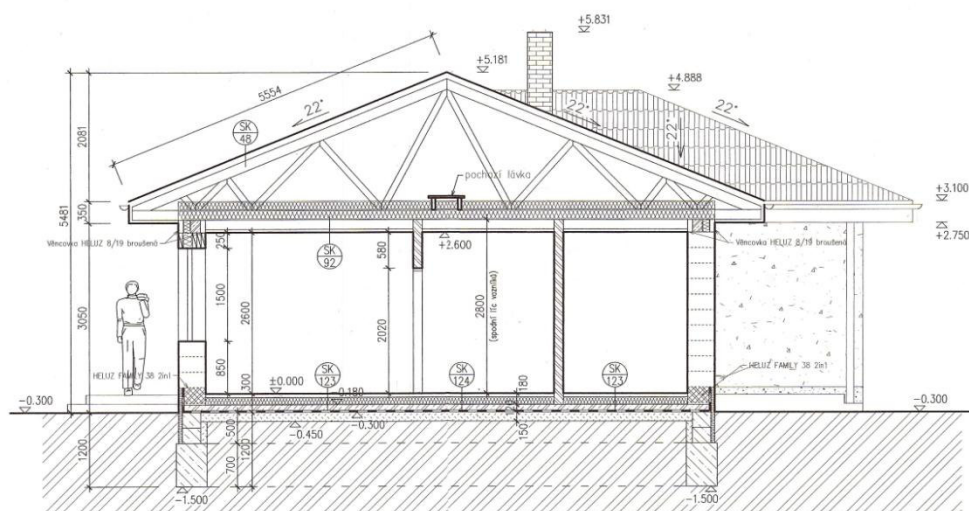
Tabulka 3.1 Rozdělení místností

Číslo místnosti	Název	Plocha [m ²]	Výška místnosti [m]	Objem místnosti
101	Zádveří	4,50	2,6	11,70
102	Technická místnost+WC	2,70	2,6	7,02
103	Chodba	7,52	2,6	19,55
104	Pokoj	9,77	2,6	25,40
105	Ložnice	13,95	2,6	36,27
106	Koupelna + WC	8,04	2,6	20,90
107	Pokoj	13,69	2,6	35,59
108	Obývací pokoj	16,45	2,6	42,77
109	Kuchyně	11,00	2,6	28,60

V tabulce 3.1 je popsáno rozdělení a označení jednotlivých místností. Je zde uvedena jejich plocha, výška a objem. Místnosti 103, 108 a 109 od sebe nejsou odděleny dveřmi jako ostatní místnosti. Pro výpočet tepelných ztrát se berou tyto 3 místnosti jako jedna velká spojená místnost (chodba + obývací pokoj + kuchyně).

3.2 Konstrukční a materiálové řešení objektu

Objekt je založen na základových pásech a podkladní betonové desce. Na zeminu je vysypán zhutněný štěrkový násyp, na kterém je položena hydroizolace (asfaltové pásy a lepenky). Následuje betonová vrstva o tloušťce 12 cm, která je vystužena svařovanou KARI sítí. Další vrstvu tvoří tepelná izolace Styrotherm Plus 100 o tloušťce 6 cm. Předposlední vrstvu tvoří hutný beton o tloušťce 4,5 cm. Poslední vrstvu tvoří laminátová plovoucí podlaha nebo keramická dlažba (místnosti 101, 102, 106).



Obrázek 3.2 Řez domu A-A

Na obrázku 3.2 je řez domu, kde jsou vidět horizontální a svislé konstrukce. Je zde vidět uspořádání krovu a realizace střechy.

3.2.1 Svislé konstrukce

Obvodová zeď o tloušťce 55 cm je vyzděna z tvárnic HELUZ FAMILY 44 2oin1 P10 a je zateplena z vnější strany fasádním polystyrenem EPS 100 o tloušťce 10 cm. Následně je na polystyren nanесena perlinka s lepidlem a silikonová omítka Cerezit CT70.

Vnitřní nosná zeď o tloušťce 20 cm je vyzděna z broušených tvárnic HELUZ 20. Nenosné příčky o tloušťce 15 cm jsou vyzděny z broušených tvárnic HELUZ 14. Všechny vnitřní zdi mají vápenocementovou omítku. V místnosti 102, 106 a 109 je navíc přidán keramický obklad o tloušťce 0,9 cm.

Ztužující věnec o tloušťce 20 cm je vybetonován v úrovni stropu nad 1. NP a tvoří podklad pro uložení dřevěných příhradových vazníků (konstrukce krovu).

Všechna okna nainstalovaná v domě obsahují izolační trojsklo. Vstupní dveře do objektu a vnitřní dveře mají izolační dvojsklo.

V místnosti 103 je vyveden komín nad střechu budovy, který slouží pro krbová kamna.

3.2.2 Vodorovné konstrukce

Stropní konstrukce je provedena sádkartonovým podhledem o tloušťce 1,25 cm, který je zavěšen na konstrukci krovu (dřevěných příhradových vaznících). Sádkartonové desky drží ocelový rošt. Nad sádkartonovým podhledem je umístěna parotěsná zábrana. Nad zábranou je tepelná izolace o tloušťce 30 cm.

Krov je postaven z dřevěných příhradových vazníků (smrkové řezivo). Dřevo je chráněno impregnací BOCHEMIT QB. Sklon vazníků pro poklad krytiny je 22 °.

Krytina střechy je položena na dřevěných příhradových vaznících a realizována z betonových tašek BRAMAC MAX v červenohnědé barvě. Tašky jsou položeny na

latě a kontralatě. Pod taškovou krytinou je použita izolace. Odvětrávání střechy je zajištěno u římsy a hřebenu střechy. Výlez na střechu je realizován pomocí střešního okna VELUX GVK o rozměrech 46 cm x 61 cm.

Podlaha je tvořena převážně s vinylové plovoucí podlahy. V několika místnostech, kde je potřeba, je položena keramická dlažba. Kompletní složení podlahy, která navazuje na betonové základy, je popsáno na začátku kapitoly 3.2.

3.3 Klimatické podmínky místa stavby

V České republice je mnoho klimatických stanic, které zaznamenávají teploty po celý rok. Na základě měření nám dávají potřebné hodnoty pro danou oblast, kde stavíme, a počítáme tepelné ztráty domu. Od vypočtených tepelných ztrát se odvíjí návrh otopné soustavy. Hodnoty pro dané oblasti jsou uvedeny v normě ČSN EN 12831.

Tabulka 3.2 Klimatické podmínky - oblast Brno venkov

Oblast - okres Brno venkov			
Počet topných dnů pro danou oblast			232
Výpočtová venkovní teplota	θ_e	°C	-15
Průměrná teplota vzduchu v otopném období	$\theta_{m,e}$	°C	4

V tabulce 3.2 jsou převzaté hodnoty z normy [54] pro danou oblast, kde je postavený daný objekt. Průměrná venkovní teplota je 4° C a výpočtová venkovní teplota je -15° C. Pro danou lokalitu je uvedeno 232 topných dnů za rok.

musíme zvolit podle lokality objektu venkovní výpočtovou teplotu, která se volí -12 °C, -15 °C, nebo -18 °C. Tyto venkovní teploty jsou rozděleny podle okresů, nebo měst v České republice, lze je tedy snadno dohledat v dostupné tabulce na internetových stránkách v odkazu [54]. Další hodnoty důležité pro výpočet jsou střední venkovní teplota za otopné období a počet dnů otopného období. Dále se ještě rozděluje, zda jde o větrnou oblast, nebo o větší nadmořskou výšku dané lokality. Pro výpočet celkové ztráty objektu je potřeba sečíst tepelné ztráty prostupem a tepelné ztráty větráním. [54; 55; 56; 57]

V této diplomové práci je zvolena varianta výpočtu podle normy ČSN EN 12831 **Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu**. Všechny výpočty jsou provedeny v programu MS Excel přesně podle zmíněné normy. Veškeré vzorce a normované hodnoty použité v celé kapitole 4 jsou převzaty z norem: [59; 60; 61; 62].

4.1 Přehled základních údajů pro výpočet

Tabulka 4.1 Základní klimatické údaje objektu pro výpočet tepelných ztrát

Klimatické údaje				
Popis		Označení	Jednotka	Hodnota
Výpočtová venkovní teplota		θ_e	°C	-15
Průměrná teplota vzduchu v otopném období		$\theta_{m,e}$	°C	4
Korekční činitelé vystavení klimatických podmínkám e_k a e_t				
Orientace				Hodnota
				na jednotku
Vše				1,00
Vytápěné místnosti				
Označení místnosti		Výpočtová vnitřní teplota	Plocha místností	Objem místností
		$\theta_{int,i}$ °C	A_i m ²	V_i m ³
101	Zádvěří	15	4,50	11,70
102	WC + Technická místnost	20	2,70	7,02
103	Chodba	20	7,52	19,55
104	Pokoj	20	9,77	25,40
105	Ložnice	20	13,95	36,27
106	Koupelna + WC	24	8,04	20,90
107	Pokoj	20	13,69	35,59
108	Obývací pokoj	20	16,45	42,77
109	Kuchyně	20	11,00	28,60
Celkem			87,62	227,81
Nevytápěné místnosti				
Označení místnosti			b-hodnota	teplota
			b_u [-]	θ_u
			na jednotku	°C
Nevytápěné podkroví			0,83	-9

V tabulce 4.1 jsou stanoveny základní údaje pro výpočet tepelných ztrát vybraného rodinného domu. Zdroj venkovních klimatických údajů je uveden v kapitole 3.3. Vnitřní výpočtové teploty jsou zvoleny na základě normy ČSN EN 12831 [59], doporučení stavebního projektanta a vlastního uvážení.

Tabulka 4.2 Součinitelé tepelné vodivosti stavebních materiálů

Označení materiálu	Název materiálu	λ [W/mK]
1	Laminátová plovoucí podlaha tl. 7 mm	0,160
2	Keramická Dlažba tl. 9 mm, Keramický obklad tl. 9mm	1,010
3	Heluz Family 44 2in1 P10 tl. 440 mm	0,061
4	Heluz Family 38 2in1 tl. 380 mm	0,084
5	Heluz 20 broušená tl. 200 mm	0,270
6	Heluz 14 broušená tl. 150 mm	0,249
7	Zhutněný štěrkový násyp	0,930
8	Beton hutný	1,230
9	Hydroizolace - asfaltové pásy a lepenky	0,210
10	Tepelná izolace Styrotherm Plus 100 tl. 60 mm	0,031
11	Tepelná izolace Isover UNI tl. 150 mm	0,035
12	Sádrokarton Rbi tl. 12,5 mm	0,220
13	Omítka vápenocementová	0,990
14	Beton s výstuží C 16/20	1,430
15	Fasádní polystyren eps 100	0,037
16	Perlinka s lepidlem	0,830
17	silikonová omítka cerezit ct70	0,610
18	Parotěsná fólie	0,200

V tabulce 4.2 je přehled veškerého použitého stavebního materiálu daného objektu. Pro každý materiál je zde uveden součinitel tepelné vodivosti. Hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ jsou převzaty z normy ČSN 73 0540-3 [61] a od výrobců stavebních materiálů. Tyto hodnoty je potřeba znát pro výpočet součinitele prostupu tepla pro konkrétní stavební konstrukci.

Tabulka 4.3 Tepelný odpor při přestupu tepla (mezi vzduchem a stavební částí)

Označení materiálu	Název materiálu	$R_{Si}; R_{Se}$ [m ² K/W]
61	Odpor při přestupu na vnitřní straně R_{Si} (vodorovný tepelný tok)	0,13
62	Odpor při přestupu na vnější straně R_{Se} (vodorovný tepelný tok)	0,04
63	Odpor při přestupu na vnitřní straně R_{Si} (tepelný tok směrem nahoru)	0,1
66	Odpor při přestupu na vnitřní straně R_{Se} (tepelný tok směrem dolů)	0,17

Tabulka 4.3 zobrazuje hodnoty tepelného odporu při přestupu tepla mezi vzduchem

a stavební částí. Odpor při přestupu na vnitřní straně se značí R_{si} a odpor přestupu na vnější straně R_{se} . Hodnoty jsou stanoveny podle normy ČSN EN 12831 [59] a jsou nezbytné pro výpočet tepelného odporu konstrukce při přestupu tepla.

4.2 Výpočet součinitele prostupu tepla stavební konstrukcí

V kapitole 4.2 je proveden výpočet součinitele prostupu tepla pro všechny použité stavební součásti v domě. Součinitel prostupu tepla U je vypočítán podle celkového tepelného odporu konstrukce R podle rovnice:

$$U = \frac{1}{R} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (4.1)$$

Celkový tepelný odpor je vypočítán podle rovnice:

$$R = \sum R_j = R_{si} + \sum_{i=1}^n R_i + R_{se} = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (4.2)$$

kde:

- R je celkový tepelný odpor konstrukce při přestupu tepla [$\text{m}^2\text{K/W}$];
- R_{se} tepelný odpor při přestupu na vnější straně konstrukce [$\text{m}^2\text{K/W}$];
- R_{si} tepelný odpor při přestupu na vnitřní straně konstrukce [$\text{m}^2\text{K/W}$];
- R_i tepelný odpor jednotlivých vrstev konstrukce [$\text{m}^2\text{K/W}$];
- α_e součinitel přestupu tepla na vnější straně [$\text{W/m}^2\text{K}$];
- α_i součinitel přestupu tepla na vnitřní straně [$\text{W/m}^2\text{K}$];
- δ_i tloušťka jednotlivých vrstev konstrukce [m];
- λ_i součinitel tepelné vodivosti [W/mK].

V tabulce 4.4 je zobrazen výpočet součinitele prostupu tepla pro obvodovou zeď s vnější izolací. V tabulce je kód stavební části, kód materiálu, označení stavebních částí, tloušťka použitého materiálu d a součinitel tepelné vodivosti λ . Následně je vypočten tepelný odpor R pro každou stavební část podle vzorce (4.2). Nakonec je vypočten celkový tepelný odpor kompletní obvodové stěny s vnější izolací a následně vypočten celkový součinitel prostupu tepla U podle vzorce (4.1). Celkový součinitel pro obvodovou zeď je zaokrouhlen na hodnotu $0,099 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Další tabulky s výpočtem součinitele prostupu tepla pro ostatní stavební součásti jsou uvedeny v příloze této diplomové práce na příloženém disku.

Tabulka 4.4 Výpočet součinitele prostupu tepla U konkrétní stavební součásti

Kódy		Označení stavebních částí	d	λ	R	U
Stavební část	Materiál		[m]	[W/mK]	[m²K/W]	[W/m²K]
OBV1	Obvodová stěna s vnější izolací					
	61	Odpor při přestupu na vnitřní straně (vodorovný tepelný tok)			0,13	
	13	Omítka vápenocementová	0,010	0,990	0,010101	
	3	Heluz Family 44 2in1 P10 tl. 440 mm	0,440	0,061	7,213115	
	15	Fasádní polystyren eps 100	0,100	0,037	2,702703	
	16	Perlinka s lepidlem	0,001	0,830	0,001205	
	17	silikonová omítka cerezit ct70	0,003	0,610	0,004918	
	62	Odpor při přestupu na vnější straně (vodorovný tepelný tok)			0,04	
	Celková tloušťka a součinitel prostupu tepla U		0,554		10,10204	0,09899

Tabulka 4.5 Vypočítané součinitele prostupu tepla pro všechny stavební součásti

Kód stavebních částí	Popis	U [W/m ² K]
OBV1	Obvodová stěna s vnější izolací	0,09899
OBV2	Obvodová stěna s vnější izolací + vnitřní keramický obklad	0,09890
VZD1	Vnitřní nenosné zdivo	1,13300
VZD10	Vnitřní nenosné zdivo + keramický obklad	1,12168
VZD2	Vnitřní nosné zdivo	0,97949
VZD20	Vnitřní nosné zdivo + keramický obklad	0,97101
PDL1	Podlaha s keramickou dlažbou	0,23225
PDL2	Podlaha s laminátovou plovoucí podlahou	0,23236
STR	Zateplený strop	0,11324

Tabulka 4.5 obsahuje veškeré vypočítané hodnoty součinitelů prostupu tepla pro všechny použité stavební součásti.

Tabulka 4.6 Součinitele prostupu tepla dané výrobcem

Kód stavebních částí	Popis	U [W/m ² K]
OKN	Plastové okno - trojsko (klasické, francouzské)	0,7
VCHDV	Vchodové plastové dveře	1,6
VNDV	Vnitřní dřevěné dveře - 2/3 zasklené	3

V tabulce 4.6 jsou hodnoty součinitelů prostupu tepla, které jsou převzaty z katalogových listů výrobce. Jedná se o plastová okna, francouzské okno, vchodové a vnitřní dveře.

4.3 Výpočet tepelných ztrát prostupem

Jako první věc po získání základních klimatických údajů (kapitola 4.1), informací o použitých stavebních materiálech (kapitola 4.1) a výpočtu všech součinitelů prostupu tepla stavebních součástí (kapitola 4.2) se vypočítají tepelné ztráty prostupem. Celkové návrhové tepelné ztráty prostupem tepla $\Phi_{T,i}$ se pro vytápěný prostor (i) vypočítají podle rovnice:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [\text{W}] \quad (4.3)$$

kde:

$H_{T,ie}$	je	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) pláštěm budovy [W/K];
$H_{T,iue}$		součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) nevytápěným prostorem (u) [W/K];
$H_{T,ig}$		součinitel tepelné ztráty prostupem do zeminy z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) v ustáleném stavu [W/K];
$H_{T,ij}$		součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedního prostoru (j) vytápěného na výrazně jinou teplotu, například sousedící místnost uvnitř funkční části budovy nebo vytápěný prostor sousední funkční části budovy [W/K];
$\theta_{int,i}$		výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru (i) [°C];
θ_e		výpočtová venkovní teplota [°C];

V této kapitole je proveden vzorový výpočet pro místnost 106 – koupelna. Jelikož se jedná o moderní nízkoenergetickou stavbu, tak jsou uvažovány pro výpočet jen tepelné mosty oken a dveří, kde jsou největší tepelné úniky. Všechny ostatní tepelné mosty rohů, spár a stropu jsou zanedbány, protože výrazně neovlivní celkovou tepelnou ztrátu budovy. Přehled hodnot tepelných mostů se nachází v příloze této diplomové práce na přiloženém disku.

4.3.1 Tepelné ztráty do venkovního prostředí

Součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) $H_{T,ie}$ zahrnuje všechny stavební části a lineární tepelné mosty, které oddělují vytápěný prostor od venkovního prostředí, jako jsou obvodové stěny domu, podlahy, stropy, dveře a okna. Do výpočtu jsou zahrnuty tepelné mosty oken (parapet, ostění, horní hrana) a tepelné mosty vstupních dveří (práh, ostění, nápraží). Ztráty do venkovního

prostředí se vypočítají podle rovnice:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_l \Psi_l \cdot I_l \cdot e_l \quad [\text{W/K}] \quad (4.4)$$

kde:

A_k je plocha stavební části (k) [m^2];

U_k součinitel prostupu tepla [$\text{W/m}^2\text{K}$];

e_k, e_l korekční činitel vystavení povětrnostním vlivům a podmínkám při zahrnutí oslunění objektu, pohlcování vlhkosti stavbou, rychlosti větru a teploty [-];

Ψ_l činitel lineárního prostupu tepla (tabulka s přehledem hodnoty je uvedena v příloze práce) [$\text{W/m}^2\text{K}$];

I_l délka lineárních tepelných mostů mezi vnitřním (i) a venkovním (e) prostředím [m];

Tabulka 4.7 Vzorový výpočet ztrát do venkovního prostředí pro místnost 106

Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí					
Kód	Stavební část	A _k	U _k	e _k	A _k ·U _k ·e _k
		m ²	W/m ² K	na jedn.	W/K
OBV2	Obvodová stěna s vnější izolací + vnitřní keramický obklad	4,74	0,09890	1,00	0,47
OKN	Plastové okno - trojsko (klasické, francouzské)	1,5	0,7	1,00	1,05
Celkem stavební části					1,52
Kód	Tepelný most	ψ _l	I _l	e _l	ψ _l · I _l · e _l
		W/mK	m	na jedn.	W/K
7A	Okno, parapet	0,12	1	1,00	0,120
7B	Okno, horní hrana	0,12	1	1,00	0,120
7C	Okno, ostění	0,12	3,00	1,00	0,360
Celkem tepelné mosty					0,60
Celkový součinitel tepelné ztráty, přímo do venkovního prostředí					
H _{T,ie} = ∑ _k A _k · U _k · e _k + ∑ _l ψ _l · I _l · e _l					2,119
[W/K]					

V tabulce 4.7 je uveden vzorový výpočet pro místnost 106 – koupelna. Tato místnost má situovanou do venkovního prostředí jednu stěnu a jedno plastové okno. Tepelné mosty jsou počítány kolem plastového okna. Tepelná ztráta přes stavební části je **1,52 W/K** a tepelná ztráta přes tepelné mosty je **0,6 W/K**. Celková tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí pro místnost 106 je vypočtena na hodnotu **2,119 W/K**.

4.3.2 Tepelné ztráty nevytápěným prostorem

Jestli je mezi vytápěným prostorem (i) a venkovním prostředím (e) nevytápěný prostor (u), tak se vypočítá součinitel tepelné ztráty prostupem tepla $H_{T,iue}$ z vytápěného prostoru do venkovního prostředí podle rovnice:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \sum_l \Psi_l \cdot I_l \cdot b_u \quad [\text{W/K}] \quad (4.5)$$

kde:

b_u je teplotní redukční činitel zahrnující teplotní rozdíl mezi teplotou nevytápěného prostoru a venkovní návrhovou teplotou [-];

Teplotní redukční činitel b_u je stanoven na základě následující podmínky. Je-li teplota nevytápěného prostoru θ_u stanovena nebo navržena podle návrhových podmínek, je rovnice pro výpočet činitele b_u :

$$b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_u}{\theta_{int,i} - \theta_e} = \frac{24 - (-9)}{24 - (-15)} = 0,85 \quad [-] \quad (4.6)$$

kde:

$\theta_{int,i}$ je výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru [°C];

θ_u výpočtová teplota nevytápěného prostoru [°C];

θ_e výpočtová venkovní teplota [°C];

Tabulka 4.8 Tepelné ztráty přes nevytápěné prostory pro místnost 106

Tepelné ztráty přes nevytápěné prostory					
Kód	Stavební část	A_k	U_k	b_u	$A_k \cdot U_k \cdot b_u$
		m^2	$\text{W/m}^2\text{K}$	na jedn.	W/K
STR	Zateplený strop	8,04	0,113241	0,85	0,77
Celkem stavební části $\sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k$ [W/K]					0,77
Kód	Tepelný most	Ψ_l	I_l	b_u	$\Psi_l \cdot I_l \cdot b_u$
		W/mK	m	na jedn.	W/K
-	žádný	0,00	0,00	0,85	0,000
Celkem tepelné mosty $\sum_k \Psi_k \cdot I_k \cdot e_k$ [W/K]					0,00
Celkový tepelné ztráty přes nevytápěné prostory $H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \sum_l \Psi_l \cdot I_l \cdot b_u$ [W/K]					0,770

V tabulce 4.8 je výpočet tepelné ztráty přes nevytápěné prostory pro místnost 106 - koupelna. Jediné místo, které není v domě vytápěné, je společný půdní prostor nad všemi místnostmi. Tepelné mosty nejsou uvažovány pro zateplený strop. Redukční činitel b_u je spočítán na hodnotu 0,85 a tepelná ztráta stropem je **0,770 W/K**.

4.3.3 Tepelné ztráty do přilehlé zeminy

Tepelné ztráty podlahou, základem budovy a přímým nebo nepřímým stykem s přilehlou zeminou závisí na více faktorech. Zohledňuje se plocha a obvod podlahové desky, hloubka podzemního podlaží pod úrovní zeminy a tepelné vlastnosti zeminy.

Hodnota tepelné ztráty prostupem do zeminy v ustáleném stavu $H_{T,ig}$ z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) se vypočítá podle vztahu:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} (\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k}) \cdot G_w \quad [W/K] \quad (4.7)$$

kde:

f_{g1} je korekční činitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty [-];
 f_{g2} teplotní redukční činitel, který zohledňuje rozdíl mezi roční průměrnou teplotou a výpočtovou venkovní teplotou, stanoví se podle vztahu:

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e} = \frac{24 - 4}{24 - (-15)} = 0,513 \quad [-] \quad (4.8)$$

A_k plocha stavební částí dotýkající se zeminy [m^2];
 $U_{equiv,k}$ ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební částí [W/m^2K];
 G_w korekční činitel, který zohledňuje vliv spodní vody. Tento vliv můžeme zanedbat, pokud je hladina spodní vody více jak 1 m pod úrovní podlahy podzemního podlaží [-];

Pro určení hodnoty ekvivalentního součinitele $U_{equiv,k}$ z tabulky dle normy EN ISO 12831 je nejprve potřeba vypočítat charakteristický parametr B' podle rovnice:

$$B' = \frac{A_g}{0,5 - P} = \frac{113,28}{0,5 - 46,6} = 4,86 \quad [m] \quad (4.9)$$

kde:

A_g je plocha uvažované podlahové konstrukce (plocha půdorysu objektu) [m^2];
 P obvod uvažované podlahové konstrukce (obvod půdorysu objektu) [m];

V tabulce 4.9 je vzorový výpočet tepelných ztrát do přilehlé zeminy pro místnost 106 – koupelnu. Pro daný objekt je z tabulky určen korekční činitel f_{g1} s hodnotou **1,45**. Teplotní redukční činitel f_{g2} vypočítaný podle vzorce 4,8 má hodnotu **0,513**. Parametr G_w je nastaven na hodnotu **1**, protože spodní voda se nachází hlouběji než 1 m pod podlahovou plochou objektu. Plocha podlahové plochy koupelny A_k je **8,04 m^2** . Celková tepelná ztráta do zeminy je **1,016 W/K**.

Tabulka 4.9 Tepelné ztráty do zeminy pro místnost 106

Tepelné ztráty zeminou					
Výpočet B'		A_g	P	$B' = 2 \cdot A_g / P$	
		m ²	m	m	
		113,28	46,60	4,86	
Kód	Stavební část	U_k	$U_{equiv,k}$	A_k	$A_k \cdot U_{equiv,k}$
		W/m ² K	W/m ² K	m ²	W/K
PDL1	Podlaha s keramickou dlažbou	0,2323	0,170	8,04	1,37
Celkem ekvivalentní stavební část		$\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k}$		W/K	1,37
Korekční činitelé		f_{g1}	f_{g2}	G_w	$f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$
		na jedn.	na jedn.	na jedn.	na jedn.
		1,450	0,513	1,00	0,744
Celkový součinitel tepelné ztráty zeminou $H_{T,ig} = (\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k}) \cdot f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$ [W/K]					1,016

4.3.4 Tepelné ztráty do nebo z prostorů vytápěných na rozdílné teploty

Součinitel tepelné ztráty $H_{T,ij}$ udává tok tepla prostupem z vytápěné místnosti (i) do sousední vytápěné místnosti (j), která je vytápěna na výrazně jinou teplotu. Může se jednat o sousední místnosti uvnitř funkční části budovy jako je například koupelna, garáž, chodba, nebo jiné místnosti s rozdílnými teplotami. Součinitel tepelné ztráty $H_{T,ij}$ se vypočítá podle vzorce:

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{i,j} \cdot A_k \cdot U_k \quad [\text{W/K}] \quad (4.10)$$

kde:

$f_{i,j}$ je redukční teplotní činitel, který koriguje teplotní rozdíl mezi teplotou sousední místnosti a venkovní výpočtovou teplotou:

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{vytápěného\ sousedního\ prostoru}}{\theta_{int,i} - \theta_e} = \frac{24 - 20}{24 - (-15)} = 0,1 \quad [-] \quad (4.11)$$

A_k plocha stavební části [m²];

U_k součinitel prostupu tepla [W/m²K];

Místnost 106 – koupelna má stanovenou výpočtovou teplotu 24 °C. Ostatní místnosti, s kterými koupelna sousedí, mají teplotu 20 °C. Redukční teplotní součinitel $f_{i,j}$ je podle vzorce 4.11 vypočten na hodnotu **0,1**. V tabulce 4.10 je vzorový výpočet pro místnost 106. Celkové tepelné ztráty do prostorů s rozdílnou teplotou jsou **2,676 W/K**.

Tabulka 4.10 Tepelné ztráty do místností s rozdílnou teplotou - místnost 106

Tepelné ztráty do prostorů vytápěných na rozdílné teploty					
Kód	Stavební část	f_{ij}	A_k	U_k	$f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k$
		na jedn.	m ²	W/m ² K	W/K
VZD1	Vnitřní nenosné zdivo	0,10	5,46	1,133001	0,63
VZD10	Vnitřní nenosné zdivo + keramický obklad	0,10	18,2	1,121677	2,04
Celkový součinitel tepelné ztráty přes prostory s rozdílnými teplotami $H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k$					[W/K] 2,676

4.3.5 Celkový součinitel tepelné ztráty prostupem – místnost 106

Jednotlivé součinitele prostupu tepla pro konkrétní místnost 106 byly vypočítány v podkapitolách 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3 a 4.3.4. Upravením rovnice 4.3 dostáváme následující dvě rovnice:

$$H_{T,i} = H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij} = 2,119 + 0,770 + 1,016 + 2,676 = 6,581 \text{ W/K}$$

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,i}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) = 6,581 \cdot (24 - (-15)) = 257 \text{ W}$$

Celková tepelná ztráta prostupem pro koupelnu (místnost 106) je vypočtena na hodnotu **257 W**. Vzorový výpočet pro celkovou tepelnou ztrátu prostupem je v tabulce 4.11.

Tabulka 4.11 Celková tepelná ztráta prostupem pro místnost 106

Celkový součinitel tepelné ztráty prostupem $H_{T,i} = H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}$				[W/K]	6,581
Teplotní údaje					
Venkovní výpočtová teplota	θ_e	°C	-15		
Vnitřní výpočtová teplota	$\theta_{int,i}$	°C	24		
Výpočtový rozdíl teplot	$\theta_{int,i} - \theta_e$	°C	39		
Průměrná teplota vzduchu v otopném období	$\theta_{m,e}$	°C	4		
Návrhová tepelná ztráta prostupem $\Phi_{T,i} = H_{T,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e)$				[W]	257

4.4 Tepelné ztráty větráním

Další krok, který je nutný pro výpočet celkové tepelné ztráty domu, je vypočítat tepelné ztráty větráním pro každou místnost. V objektu se nenachází větrací soustava, je uvažováno pouze přirozené větrání otevíracími otvory. Návrhová tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,i}$ pro vytápěný prostor (i) se vypočítá podle vzorce:

$$\Phi_{T,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [\text{W}] \quad (4.12)$$

kde:

$H_{V,i}$ je součinitel návrhové tepelné ztráty větráním [W/K];
 $\theta_{int,i}$ výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru [°C];
 θ_e výpočtová venkovní teplota [°C];

4.4.1 Součinitel tepelné ztráty větráním

Součinitel tepelné ztráty větráním $H_{V,i}$ vytápěného prostoru (i) je vyjádřen vzorcem:

$$H_{V,i} = V_i \cdot \rho \cdot C_p \quad [\text{W/K}] \quad (4.13)$$

kde:

V_i je výměna vzduchu ve vytápěném prostoru [m^3/s];
 ρ hustota vzduchu při teplotě $\theta_{int,i}$ [kg/m^3];
 C_p měrná tepelná kapacita vzduchu při teplotě $\theta_{int,i}$ [$\text{kJ}/\text{Kg.K}$];

Pro zjednodušení výpočtu se uvažuje konstantní hustota vzduchu ρ a měrná kapacita vzduchu C_p . Následně je upravena rovnice 4.13 na vzorec:

$$H_{V,i} = V_i \cdot 0,34 \quad [\text{W/K}] \quad (4.14)$$

Výpočet V_i závisí na tom, zda má objekt větrací soustavu nebo jen přirozené větrání pomocí oken a dveří.

4.4.2 Infiltrace obvodovým pláštěm budovy

Množství vzduchu infiltrací $V_{inf,i}$ vytápěného prostoru (i) způsobené větrem a účinkem vztlačky na plášť budovy se vypočítá podle vzorce:

$$V_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad (4.15)$$

kde:

n_{50} je intenzita výměny vzduchu za hodinu při rozdílu tlaků 50 Pa mezi vnitřkem a venkem budovy, která zahrnuje účinky přívodů vzduchu [m^3/s];

- e_i stínící činitel [-];
- ε_i výškový korekční činitel, který zohledňuje zvýšení rychlosti proudění vzduchu s výškou prostoru nad povrchem země [-];

Vzhledem k tomu, že se jedná o nízkoenergetickou stavbu, tak je možné infiltraci obvodovým pláštěm zanedbat. Hodnoty jsou tak nízké, že neovlivní tepelné ztráty větráním. Výměna vzduchu přirozeným větráním je větší než infiltrace vzduchu přes plášť budovy, proto je pro výpočet uvažována pouze výměna vzduchu přirozeným větráním.

4.4.3 Hygienické množství vzduchu

Z hygienických důvodů je stanovena minimální výměna vzduchu pro každou místnost v domě. Minimální množství výměny vzduchu se stanoví podle vzorce:

$$V_{min,i} = n_{min} \cdot V_i \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (4.16)$$

kde:

n_{min} je minimální intenzita výměny venkovního vzduchu [h^{-1}];

V_i objem vytápěné místnosti [m^3];

Na základě normy je minimální intenzita výměny venkovního vzduchu n_{min} stanovena $0,5 \text{ h}^{-1}$ pro všechny místnosti kromě koupelny a kuchyňského koutu, kde je hodnota výměny stanovena na $1,5 \text{ h}^{-1}$.

4.4.4 Výpočet tepelných ztrát přirozeným větráním

Tabulka 4.12 Výpočet tepelné ztráty větráním - všechny místnosti objektu

Označení místností			101 Zádveří	102 Technická místnost + WC	103+108+109 chodba+obývací kuchyň	104 Pokoj	105 Ložnice	106 Koupelna	107 Pokoj	Celkem
Objem místnosti	V_i	m^3	11,7	7,0	90,9	25,4	36,3	20,9	35,6	227,81
Výpočtová venkovní teplota	θ_e	$^{\circ}\text{C}$	-15							
Výpočtová vnitřní teplota	$\theta_{int,i}$	$^{\circ}\text{C}$	15	20	20	20	20	24	20	
Množství vzduchu infiltrací	Nejmenší hygienická intenzita výměny vzduchu	$n_{min,i}$	0,5	0,5	1,5(109) 0,5(103,10)	0,5	0,5	1,5	0,5	
	Nejmenší hygienické množství vzduchu	$V_i = V_{min,i}$	5,9	3,5	74,05	12,7	18,1	31,4	17,8	
Výpočet tepelné ztráty větráním	Návrhový součinitel tepelné ztráty	$H_{v,i}$	1,989	1,193	25,177	4,318	6,166	10,661	6,051	
	Teplotní rozdíl	$\theta_{int,i} - \theta_e$	30	35	35	35	35	39	35	
	Návrhová tepelná tráta větráním $\Phi_{V,i} = H_{v,i} \times (\theta_{int,i} - \theta_e)$	$\Phi_{V,i}$	59,67	41,77	881,20	151,14	215,81	415,78	211,78	1977,15

V tabulce 4.12 je výpočet tepelných ztrát přirozeným větráním pro všechny místnosti objektu. Pro místnost 106 je tepelná ztráta větráním **415,78 W**, což je skoro dvakrát více než tepelné ztráty prostupem (**257 W**).

Celkové tepelné ztráty přirozeným větráním pro celý objekt jsou **1977,15 W**.

4.5 Zátopový tepelný výkon

Zátopový tepelný výkon $\Phi_{RH,i}$ slouží pro vyrovnání účinků přerušovaného vytápění. Tento výkon se stanoví pomocí vzorce:

$$\Phi_{RH,i} = A_i + f_{RH} \quad [\text{W}] \quad (4.17)$$

kde:

A_i je podlahová plocha vytápěného prostoru [m^2];
 f_{RH} zátopový součinitel, který závisí na druhu budovy, stavební konstrukci, době zátoku a poklesu teploty uvnitř místnosti v době útlumu vytápění [W/m^2];

Pro tento nízkoenergetický dům vytápěný tepelným čerpadlem je zátopový tepelný výkon zanedbán. Tepelné čerpadlo není vhodné dokola vypínat a zapínat, kvůli snižování životnosti kompresoru. Moderní tepelná čerpadla jsou frekvenčně řízena a mohou tak fungovat kontinuálně na minimální výkon. Proto je tento zátopový výkon vynechán z výpočtu.

4.6 Celková tepelná ztráta objektu

Celková tepelná ztráta objektu, neboli jeho návrhový tepelný výkon se vypočítá podle vzorce:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} \quad [\text{W}] \quad (4.18)$$

kde:

$\Phi_{T,i}$ je tepelná ztráta prostupem tepla [W];
 $\Phi_{V,i}$ tepelná ztráta větráním [W];
 $\Phi_{RH,i}$ zátopový tepelný výkon potřebný pro vyrovnání účinků přerušovaného vytápění [W]; (pro tento nízkoenergetický dům – zanedbáno)

V tabulce 4.13 je kompletní přehled vypočítaných tepelných ztrát pro každou místnost zvlášť. Celková tepelná ztráta domu prostupem je **1612,39 W** a celková tepelná ztráta přirozeným větráním je **1977,15 W**. Celý dům má dohromady tepelnou ztrátu **3589,54 W**.

Tabulka 4.13 Celková tepelná ztráta domu

Označení místnosti	Název místnosti	Tepelný výkon pro TZ prostupem	Tepelný výkon pro TZ větráním	Celkový tepelný výkon
		$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{V,i}$ [W]	Φ_i [W]
101	Zádveří	31,46	59,67	91,13
102	Technická místnost +WC	67,04	41,77	108,81
103 +108 + 109	Chodba+obývací pokoj+kuchyně	616,60	881,20	1497,79
104	Pokoj	232,96	151,14	384,10
105	Ložnice	206,80	215,81	422,60
106	Koupelna	256,68	415,78	672,46
107	Pokoj	200,86	211,78	412,65
Celkem		1612,39	1977,15	3589,54

5 SOUČASNÝ ZDROJ VYTÁPĚNÍ

Pro tento dům je v základním projektu navrženo teplovodní vytápění s nuceným oběhem topné vody. Stavebně je objekt řešen tak, aby bylo možno umístit zdroj tepla, kterým je v současné době elektrokotel, v prostoru WC v 1. NP. Ohřev topné vody a TUV zajišťuje elektrický kotel THERM EL9.

Systém vytápění je řešen pomocí rozvodů z měděných trubek, které vedou od kotle do rozdělovače a sběrače. Od rozdělovače k jednotlivým tělesům je rozvod proveden v podlaze plastovým potrubím PEX-AL-PEX, které má maximální limit teploty topné vody 95 °C. Teplotní spád pro topnou vodu je zvolen 50°/40° C. Pro vytápění místností jsou použity ocelové deskové radiátory KORADO RADIK VK. Přívod a vratka k rozdělovačům jsou z měděného potrubí.

5.1 Elektrokotel THERM EL9 + zásobník TUV

Objekt má v současné době vlastní zdroj tepla, a to elektrický kotel THERM EL9 s regulovaným výkonem 1 – 9 kW, který je napojen přímo na topnou soustavu a pomocí trojcestného ventilu také na zásobník TUV – OKH125NTR/HV. Regulační krok je 1 kW. Díky nízkému minimálnímu výkonu a možnosti modulace je vhodný pro nízkoenergetické stavby. Elektrokotel má vestavěnou tlakovou expanzní nádobu o objemu 7 l, která jistí systém vytápění.



Obrázek 5.1 Elektrokotel THERM EL9

Na obrázku 5.1 je zobrazeno provedení použitého elektrokotle THERM EL9, který je zavěšený na stěnu. Vlevo na obrázku 5.1 je zobrazeno jeho vnitřní provedení a vpravo je zadělaná jednotka. Jeho rozměry jsou: výška – 63,8 cm, šířka přední strany –

47,5 cm, šířka boční strany od zdi 23,8 cm. Uvnitř zadělané jednotky se nachází: 1. kotlový výměník, 2. topná tělesa, 3. expanzní nádoba topení, 4. automatický odvzdušňovací ventil, 5. havarijní termostat, 6. energeticky úsporné čerpadlo, 7. bezpečnostní stykač, 8. pojistný ventil, 9. ovládací dotykový displej.

Mezi hlavní přednosti tohoto kotle patří:

- jednoduché ovládání díky přehlednému dotykovému displeji
- minimální výkon od 1 kW
- plynulá regulace po nízkém kroku 1 kW
- kompletní řešení vytápění a dodávka TUV
- ohřev vody v externím zásobníku
- vhodné pro nízkoenergetické a pasivní domy

Tab. 5.1 Technické údaje ELEKTROKOTLE THERM EL 9

Technické údaje - THERM EL 9	
Jmenovitý tepelný výkon	9 kW
Minimální regulační stupeň výkonu	1 kW
Jmenovitý proud (jednofázové připojení)	13 (39) A
Stupeň elektrického krytí	IP 40
Napájecí napětí / frekvence	3x 400/230 V - 50 HZ
Objem expanzní nádoby	7 l
Hmotnost kotle bez vody	27 kg
Maximální teplota otopné vody	80 °C
Jmenovitý proud pojistky ovládání	1,25 A
Hlavní jistič elektroinstalace	16 (50) A
Mechanická životnost relé	100000 cyklů

V tabulce 5.1 jsou uvedeny základní technické parametry elektrokotle THERM EL9.

Pro ohřev teplé užitkové vody v domě je k elektrickému kotli přidán externí zásobník OKH 125 NTR/HV. Jedná se konkrétně o stacionární nepřímotopný zásobník na TUV, který obsahuje až 115 l teplé vody. Ocelová nádoba ohřívače je vyrobena ze speciálního silného plechu. Ohřívač obsahuje jeden výměník. Elektrokotel a zásobník je propojený přes externí trojcestný ventil. Zásobník vody je umístěn pod závěsným kotlem, protože veškeré připojení trubek má zásobník na své horní straně.

Při nedostatku TUV v nádrži dá termostat pokyn regulační soustavě k přesměrování trojcestného ventilu z elektrokotle do nádrže TUV. Na základě technického listu výrobce zásobníku je při maximálním výkonu externího zdroje ohřevu TUV uvedena doba ohřevu celého zásobníku vody pouhých 14 minut. Až má zásobník naakumulovanou maximální teplotu TUV, tak regulace přesměruje trojcestný ventil zpátky na topnou soustavu domu.



Obrázek 5.2 Zásobník vody OKH 125 NTR/HV

Na obrázku 5.2 je zobrazen použitý zásobník. Pro zobrazení a představení vnitřního provedení zásobníku je pouze na obrázku vidět koncepce vnitřní trubkové spirály, kde proudí ohřátá voda z elektrokotle a předává teplo do zásobníku. Ve skutečnosti spirála není vidět a celý zásobník je zakrytý a to hlavně z důvodu akumulace tepla.

Tab. 5.2 Technické údaje zásobníku vody OKH 125 NTR/HV

Technické údaje - THERM OKH 125 NTR/HV	
Třída energetické účinnosti	B
Stálá ztráta	49 W
Objem zásobníku teplé vody	115 l
Výkon výměníku	32 kW
Hmotnost bez vody	67 kg
Materiál	smalt

Základní technické údaje o zásobníku jsou popsány v tabulce 5.2.

Tab. 5.3 Pořizovací náklady THERM EL9 + TUV zásobník THERM OKH 125 NTR/HV

Pořizovací náklady	
Název	Cena [Kč]
Elektrokotel THERM EL 9	24 079
Zásobník TUV THERM OKH 125 NTR/HV	13 189
Ekvitermní regulace Honeywell	2892
Montáž + spojovací materiál	3999
Celkem	44 159

V tabulce 5.3 jsou popsány jednotlivé pořizovací náklady současného zdroje vytápění. Nejdražší položkou je elektrokotel THERM EL 9. Celkové pořizovací náklady pro tento zdroj vytápění je **43 159 Kč**. Instalace a pořizovací náklady nejsou sice vysoké, ale hlavní nevýhoda se promítne v ročních nákladech na vytápění a ohřev TUV, která je ze všech druhů vytápění nejvyšší. Ekonomické zhodnocení a spotřeba energie všech variant vytápění je znázorněno v kapitole 7.

Hlavním důvodem projektování elektrokotlů do nízkoenergetických staveb jsou nízké pořizovací náklady, snadná montáž a údržba. Nevýhodou je vysoká spotřeba elektřiny, která se promítne do ročního rozpočtu za vytápění a ohřev TUV. Většina lidí si místo elektrokotle zvolí jiný druh vytápění, jako je plynový kondenzační kotel, kotel na tuhá paliva, nebo jinou alternativní variantu vytápění, která je daleko výhodnější z hlediska ročních nákladů domu.

Všechny technické informace v této kapitole jsou převzaty z produktových listů a internetových stránek výrobce. Zbylé potřebné informace byly konzultovány s projektantem domu. [63]

6 ALTERNATIVNÍ ZDROJE VYTÁPĚNÍ

Tato kapitola se zabývá návrhem alternativního zdroje vytápění pro zmiňovaný objekt za stávající vytápění elektrokotlem, které je velice nevýhodné. První varianta je návrh tepelného čerpadla vzduch/voda od firmy NEOTA. Druhá varianta je tepelné čerpadlo země/voda od firmy NIBE. Pro třetí návrh je zvoleno stejné tepelné čerpadlo země/voda od firmy NIBE a je k němu navržen solární předehřev teplé užitkové vody. V poslední variantě je zvoleno opět již použité tepelné čerpadlo z vzduch/voda od firmy NEOTA, které je doplněno o FV elektrárnu.

6.1 Tepelné čerpadlo vzduch/voda NEORÉ 8TG TX

První ekologickou variantou vytápění je zvoleno tepelné čerpadlo NEORÉ 8TG TX od českého výrobce firmy Neota. Tato firma nabízí na českém trhu několik typů velmi kvalitních tepelných čerpadel. Jelikož má vytápěný objekt tepelnou ztrátu jen 3,6 kW, tak je vybráno nejslabší čerpadlo z nabídky firmy a to v provedení vzduch/voda s výkonem 8 kW. Na první pohled vypadá výkon čerpadla více jak 2x předimenzován na tepelnou ztrátu domu, ale bude sloužit také pro ohřev teplé vody a v budoucnu možná pro ohřev bazénu. Navíc v zimních měsících je topný faktor tepelného čerpadla nižší, takže je lepší mít dostatečnou rezervu výkonu. Tento typ čerpadla je určen pro velmi ekologické a ekonomické vytápění objektu a ohřevu TUV. Lze jej napojit na jakoukoliv navrženou topnou soustavu (radiátory, podlahové vytápění, stropní vytápění), ale s vyšší teplotou topné vody klesá topný faktor COP. V oběhu čerpadla koluje ekologické chladivo R32. Tepelné čerpadlo se skládá z venkovní a vnitřní jednotky, jedná se o splitové zařízení s invertorovým motorem. Invertorové čerpadlo znamená čerpadlo s proměnlivými otáčkami, a tudíž i s proměnlivým výkonem.



Obrázek 6.1 Vnitřní jednotka TČ NEORÉ 8TG TX

Na obrázku 6.1 je vyfocená vnitřní jednotka tepelného čerpadla NEORÉ 8TG TX. Toto provedení je velice dobře udělané, a proto je jeho hlavní výhodou snadné umístění v domě. Pokud člověk nemá v domě technickou místnost, tak právě takhle jednotka se hodí do chodby, garáže, nebo jakékoli místnosti. Všechno je zakryté, a tak člověk nepozná na první pohled, že se jedná o tepelné čerpadlo. Jádrem této vnitřní jednotky je kvalitní deskový **výměník chladivo/voda**. Součástí je i integrovaný elektrokotel o výkonu 6 kW, který umí modulovat výkon ve třech stupních 2, 4, 6 kW. Tento bivalentní zdroj vyrovnává ztrátu výkonu v extrémních zimních podmínkách. Mezi hlavní přednosti jednotky patří integrovaný nerezový zásobník 200 l na ohřev TUV. Velice důležitou částí jednotky je kvalitní regulátor Teco, který se stará o chod samotného čerpadla a celkovou regulaci teploty v objektu. Regulátor také zajišťuje spínání bivalentního integrovaného elektrokotle podle venkovního čidla teploty. Navíc jednotka nabízí připojení PC za pomoci webového rozhraní pro komfortní a efektivní obsluhu tepelného čerpadla. Dále jsou uvnitř měřicí, jistící a regulační prvky. V systému jsou dvě expanzní nádoby o objemu 8 l, které vyrovnávají tlak vody v soustavách. Jedna nádoba je v topné soustavě a druhá nádoba v soustavě užitkové vody.



Obrázek 6.2 Venkovní jednotka TOSHIBA pro TČ NEORÉ 8TG TX

Na obrázku 6.2 je vyfocená venkovní jednotka značky TOSHIBA, která je součástí tepelného čerpadla NEORÉ 8TG TX. Jednotka je vyrobena z ocelového plechu, na kterém je nanесena kvalitní antikorozní úprava za pomoci elektrostatického práškového laku. Jádrem této venkovní jednotky je **dvojitý invertní DC kompresor**, který je v oblasti tepelných čerpadel pokrokovou novinkou. Díky tomu má kompresor dlouhou životnost a je zárukou spolehlivosti. Kompresor má regulovatelné otáčky, čímž dosáhneme přesné regulace a úspory energie. Dále je v jednotce umístěn **výparník** s antikorozní úpravou a životností přes 30 let, ventilátory s regulovatelnými otáčkami, elektronický **expanzní ventil**, kontrolní a měřicí prvky.

Tepelné čerpadlo je napojeno přímo na topnou soustavu domu. Jeho maximální

výstup topné vody je 50 °C. V případě poklesu teploty vody v zásobníku TUV je topný okruh přesměrován přes zónový ventil na ohřev TUV v zásobníku. Po rychlém ohřátí vody se okruh přesměruje zpátky na topnou soustavu.

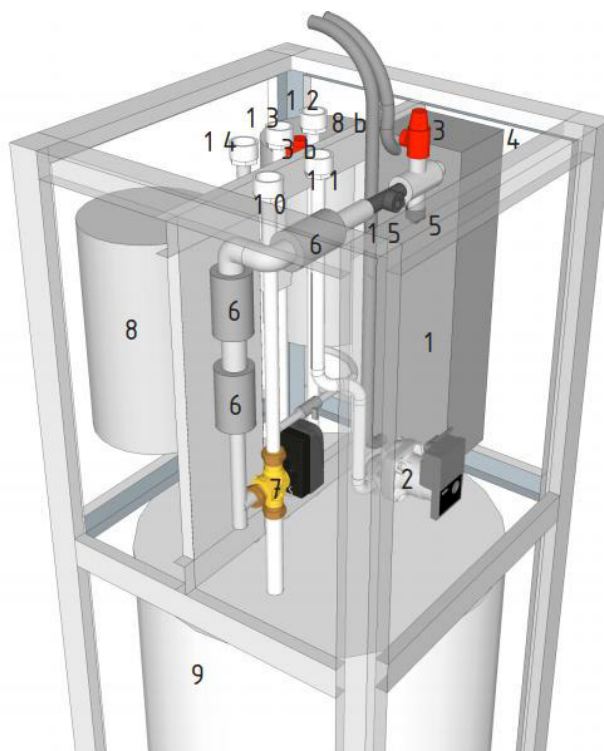
6.1.1 Technické parametry vnitřní jednotky

V této podkapitole jsou zobrazeny v tabulce 6.1 základní parametry vnitřní jednotky tepelného čerpadla NEORÉ 8TG TX.

Tabulka 6.1 Technické údaje vnitřní jednotka NEORÉ 8TG TX

Technické údaje - Vnitřní jednotka NEORÉ 8TG TX	
Záložní zdroj tepla	6 kW (3 x 2 kW)
Hladina hluku	32,5 dB
Rzoměry VxŠxH	211 cm x 63 cm x 63 cm
Hmotnost celé jednotky	186 kg
Jmenovitý průtok topné vody	950 l za hodinu
Připojení topného okruhu	závit G1
Elektrický jistič přívodu	3x 20 A
Zásobník TUV	200 l

Kolem vnitřní jednotky musí být volný prostor z obou bočních stran minimálně 40 cm. Z čela jednotky musí být minimální prostor 60 cm a od vrchního krytu minimálně 20 cm směrem nahoru.



Obrázek 6.3 Rozmístění komponentů vnitřní jednotky NEORÉ 8TG TX

Na obrázku 6.3 je ukázané vnitřní uspořádání všech komponentů vnitřní jednotky. Ve spodní části se nachází zásobník TUV (9), který má svoji expanzní nádobu 8 l (8b). Dále je do nádoby TUV napojen: vstup studené užitkové vody (12), výstup teplé užitkové vody (13) a cirkulace teplé užitkové vody (14). Nad zásobníkem TUV se nachází výměník chladivo/voda (1), z kterého vede výstup ohřáté topné vody přes průtokoměr (15), tlakový snímač (5), pojistný ventil 2,5 Bar (3), tři elektrická topná tělesa 2kW (6). Z topných těles pokračuje okruh dál do expanzní nádoby 8 l pro topnou soustavu (8) a trojcestného ventilu (7). Z trojcestného ventilu je rozdělena topná voda do zásobníku TUV a topné soustavy. Vstup vratné ochlazené topné vody (11) je sveden dohromady ze zásobníku TUV a topné soustavy. Přes oběhové čerpadlo koluje zpátky přes výměník chladivo/voda.

6.1.2 Technické parametry venkovní jednotky

V této podkapitole jsou popsány parametry venkovní jednotky toshiba, která je součástí tepelného čerpadla NEORÉ 8TG TX. Mezi hlavní výhody venkovní jednotky patří celkem přijatelná úroveň hluku 38 dB, regulovatelný DC kompresor a regulovatelné otáčky u motoru ventilátoru. Ostatní parametry jsou popsány v tabulce 6.2.

Tabulka 6.2 Technické parametry venkovní jednotky TOSHIBA

Technické údaje - Venkovní jednotka TOSHIBA	
Napájení	1 fáze 230 V
Proud	max 17,5 A
Hladina hluku	38 dB
Rozměry	89 cm x 90 cm x 32 cm
Hmotnost	68 kg
Množství chladiva R32	2,1 kg
Průtok vzduchu	4080 m ³ /hod
Kompresor	DC invertor

Venkovní jednotka musí splňovat určité podmínky pro umístění. Musí být postavena na konzoly minimálně 30 cm ve výšce od země. Dále musí být jednotka postavena minimálně 50 cm od zdi domu. Z boční a čelní strany je rezerva místa minimálně 65 cm.

6.1.3 Montáž, umístění a servis

Montáž celého zařízení musí provést autorizovaná firma výrobcem. V tomto případě je to firma NEOTA, která je zároveň i výrobcem. Jsou ale i jiné firmy, které s nimi spolupracují a dělají jim servis.

Vnitřní jednotka je ve stacionárním provedení a postaví se na podlahu technické místnosti 102. Kolem vnitřní jednotky musí být dostatek místa (přesné vzdálenosti jsou v kapitole 6.1.1), aby byl volný přístup k regulačním a jisticím prvkům a hlavně při provádění servisu.

Venkovní jednotka je už přišroubovaná na podstavec, který je součástí příslušenství

přímo od výrobce. Podstavec je nezbytný pro správnou funkci odtávání výparníku a musí být pevně ukotven nejlépe k betonové podložce. Tato betonová podložka by měla mít dostatečnou plochu a hloubku, aby udržela venkovní jednotku i při extrémních větrných podmínkách. Uprostřed betonové podložky musí být realizován odvod zkondenzované vody z výparníku. Pod otvorem betonového základu jsou položeny obložky a drenážní hadice. Poloha venkovní jednotky musí být zvolena tak, aby šum ventilátoru nenarušoval venkovní normy hluku. Ideálně instalovat směrem před dům, nebo za dům směrem na zahradu. Není vhodné realizovat směrem na sousední dům, například sousedovi pod okna ložnice. Jako první je vhodné provést hlukově zátěžovou zkoušku.

Propojení chladivového okruhu jednotek tepelného čerpadla může provádět jen autorizovaná firma v oboru klimatizace a chladírenství. Chladicí kapalina dosahuje tlaku až 4,5 MPa a při úniku má teplotu až -50 °C. Při amatérské manipulaci by mohlo dojít k vážnému zranění. Před samotným spuštěním je potřeba zavodnit topný okruh. Zavodnění probíhá na základní tlak 1,5 baru. Poté se musí celý okruh dokonale odvzdušnit. Odvzdušnění probíhá na oběhovém čerpadle nebo vnitřním výměníku. Po zavodnění a odvzdušnění se odzkouší elektrické vybavení. Dále se už vše nastavuje softwarově, například ekvitermní křivka regulace.

Tento typ tepelného čerpadla není náročný na údržbu. Základní údržba se provádí 1x ročně od servisní organizace. Při této údržbě se kontrolují hlavní prvky tepelného čerpadla. Hlavně správné množství chladiva a funkčnost chladivového okruhu. Dále se sleduje stav výparníku ve venkovní jednotce. Čistí se pomocí ošťikovače s horkou vodou (při čištění se musí vypnout hlavní jistič ve vnitřní jednotce). Vnitřní jednotka vyžaduje jen minimální údržbu. Doporučuje se jednou za rok zkontrolovat expanzní nádoby, pojistný ventil a filtr topné vody.

6.1.4 Shrnutí a náklady NEORÉ 8TG TX

Tepelné čerpadlo NEORÉ 8TG TX dokáže kromě topení a ohřívání teplé užitkové vody také fungovat v režimu chlazení. Z topné soustavy se odebírá teplo a to je předáno venkovní jednotkou pryč z objektu. Nejefektivnější způsob chlazení je přes stropní topnou soustavu nebo podlahovou topnou soustavu. Celá soustava má i funkci odmrazování venkovního výparníku. Základní parametry tepelného čerpadla jsou uvedeny v tabulce 6.3.

Tabulka 6.3 Technické údaje - Tepelné čerpadlo NEORÉ 8TG TX

Technické údaje - Tepelné čerpadlo NEORÉ 8TG TX		
Bivalentní teplota	Nízkoteplotní (35°C)	(-7 °C)
	Středně teplotní (55°C)	
(+2 °C / +35°C)	Tepelný výkon	8 kW
	COP	3,9
Sezónní energetická účinnost	Nízkoteplotní (35°C)	172 % (třída A++)
	Středně teplotní (55°C)	129 % (třída A++)
Roční spotřeba energie	Nízkoteplotní (35°C)	2827 kWh
	Středně teplotní (55°C)	3036 kWh
Maximální tepelná ztráta	Nízkoteplotní (35°C)	6 kW
	Středně teplotní (55°C)	5 kW

Technické údaje jsou uvedeny pro nízkoteplotní topnou soustavu, která používá podlahové a stropní vytápění. Stejně tak jsou uvedeny údaje i pro středně teplotní topnou soustavu, která využívá klasické deskové radiátory. Samozřejmě jsou parametry příznivější pro nízkoteplotní soustavu, kde má tepelné čerpadlo vyšší topný faktor a menší roční spotřebu. To ale neznamená, že se nehodí pro klasické deskové radiátory. Zvedne se jen roční spotřeba energie přibližně o 200 kWh a nepatrně klesne topný faktor o 0,5-0,6. Topný faktor je ale jen teoretická hodnota.

Tabulka 6.4 Pořizovací náklady Tepelné čerpadlo NEORÉ 8TG TX

Pořizovací náklady - Tepelné čerpadlo NEORÉ 8TG TX	
Název	Cena [Kč]
NEORÉ 8TG TX s integrovaným zásobníkem TUV	211 047
Konzola pro venkovní jednotku	2 106
Primární okruh 10/16 včetně elektro	6500
Montážní materiál pro připojení topení	19 008
Montáž tepelného čerpadla včetně spuštění a proškolení	15 100
Celková cena bez DPH	253 761
Celková cena s DPH 15 %	291 825

V tabulce 6.4 jsou vypsány pořizovací náklady na tepelné čerpadlo NEORÉ 8TG TX. Jedná se o realizaci na klíč, kdy firma NEOTA zařídí dopravu, umístění, montáž a zaškolení provozu. Celkové náklady na toto tepelné čerpadlo jsou 291 825 Kč.

Veškeré informace k tomuto typu tepelného čerpadla mi byly poskytnuty firmou NEOTA, která má sídlo v Brně a pobočku v Holešově. Popis celého zařízení včetně nákladů byl zkontrolován a odsouhlasen pracovníkem firmy.

6.2 Tepelné čerpadlo země/voda

Jako druhá ekologická varianta pro vytápění domu je zvoleno tepelné čerpadlo země/voda. Je vybrán typ F1245/6 od švédského výrobce NIBE. Tato firma je celosvětově známá a vyrábí velice kvalitní tepelná čerpadla. Na základě nízkých tepelných ztrát objektu 3,6 kW je vybráno opět jedno z nejslabších tepelných čerpadel, které v tomto provedení firma nabízí. Tento typ tepelného čerpadla má výkon 6 kW, který postačí pro vytápění domu i ohřev TUV. Na rozdíl od tepelného čerpadla vzduch/voda tento typ čerpadla není tolik závislý na venkovní teplotě, a tak i v zimních měsících je topný faktor stabilní. Na základě toho nemusí být tak velká rezerva výkonu a předimenzování tepelných ztrát vytápěného objektu. Tepelné čerpadlo tvoří vnitřní jednotka, která je s veškerým příslušenstvím umístěna uvnitř domu, a primární zdroj, kterým je zemní plošný kolektor. Ze zemního plošného kolektoru vede potrubí s nemrznoucí kapalinou až do vnitřní jednotky v domě.

6.2.1 Vnitřní jednotka NIBE F1245/6

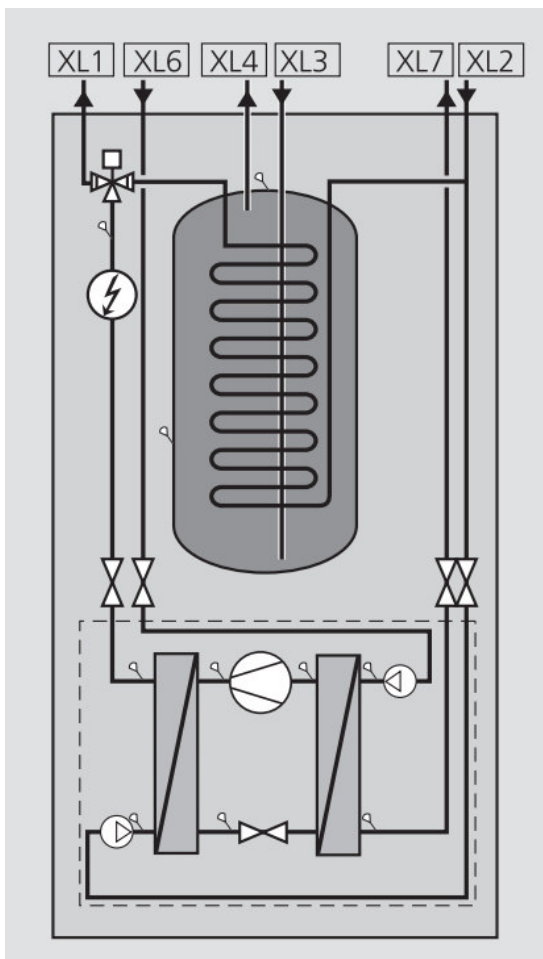
Ve vnitřní jednotce se nachází všechny základní komponenty tepelného čerpadla: výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní ventil. Součástí této jednotky je i smaltovaný zásobník o objemu 180 l pro ohřev TUV tepelným čerpadlem.



Obrázek 6.4 Tepelné čerpadlo NIBE F1245/6

Na obrázku 6.4 je vyfocené zapojení vnitřní jednotky tepelného čerpadla NIBE F1245/6. Tato jednotka může být připojena na jakoukoli nainstalovanou topnou soustavu (radiátory, podlahové vytápění, stropní vytápění). Stejně jako u předchozího

tepelného čerpadla má tato jednotka ohřev TUV z tepelného čerpadla. V případě poklesu teploty TUV v zásobníku se přesměruje topný okruh přes trojcestný ventil do zásobníku TUV a ohřívá zde užitkovou vodu. Po dokončení ohřevu této vody na požadovanou teplotu se okruh zpátky přesměruje do topné soustavy. Dále je vnitřní jednotka také vybavena elektrokotlem o výkonu 9 kW. Tento přídatný zdroj pomáhá tepelnému čerpadlu vytápět a ohřívá vodu v extrémních zimních podmínkách, kdy je tepelná ztráta budovy větší a primární zdroj zemního plošného kolektoru má nižší teplotu.



Obrázek 6.5 Schéma vnitřního zapojení tepelného čerpadla NIBE F1245/6

Na obrázku 6.5 je vnitřní uspořádání komponentů tepelného čerpadla NIBE F1245/6. Tato jednotka má zásobník TUV ve vrchní části a modul tepelného čerpadla se nachází ve spodní části. Tento modul tepelného čerpadla je konstruován tak, aby ho bylo možné vyjmout pro snadnější přenášení, instalaci nebo opravu komponentů. Jednoduše se odpojí a vytáhne ze skříně v případě poruchy nebo potřebného servisu. Do jednotky je zapojen vstup primárního okruhu z plošných kolektorů (XL6), který vede do výparníku tepelného čerpadla, kde předá energii chladivu. Ochlazený primární okruh (XL7) z výparníku vede zpátky do plošných kolektorů. Přesný popis funkce modulu tepelného čerpadla je popsán na začátku této práce v kapitole 1.1. Z vrchní části kondenzátoru vede ohřátá voda (XL 1) do topné soustavy a ochlazená voda (XL 2)

zpátky do spodní části kondenzátoru. Topný okruh je také napojen na zásobník TUV pomocí trojcestného ventilu. Ze zásobníku TUV je vyveden výstup ohřáté vody (XL4) a vstup studené vody (XL3).

Tabulka 6.5 Technické údaje - Vnitřní jednotka NIBE F1245/6

Technické údaje - Vnitřní jednotka Tepelné čerpadlo NIBE F1245/6	
Záložní zdroj tepla	9 kW (2-4-6-9)
Hladina hluku	42 dB
Rzoměry VxŠxH	180 cm x 60 cm x 62 cm
Hmotnost celé jednotky	255 kg
Jmenovitý průtok topné vody	648 l za hodinu
Připojení topného okruhu	závit G1
Elektrický jistič přívodu	3x 20 A (min. 16 A)
Zásobník TUV	180 l
Chladivo	R407C
Objem chladiva	1.5 kg

V tabulce 6.5 jsou uvedeny základní technické údaje vnitřní kompaktní jednotky NIBE F1245/6.

6.2.2 Plošný zemní kolektor

Primárním zdroj tepelného čerpadla NIBE F1245/6 je plošný zemní kolektor, který se realizuje na pozemku daného objektu. Zemní kolektor je realizován polyetylenovým extrudovaným potrubím PE 100-RC STRONG EXTRA s vysokou odolností na zatížení. Jeho velice dobré vlastnosti zajistí protekci proti trhlinám. Není nutné ani pískování potrubí jako u ostatních PE potrubí. Plošný kolektor se dá zhotovit z jednoho nebo více okruhů. Na obrázku 6.5 je přehled technických parametrů pro potrubí PE 100RC STRONG EXTRA.

PE100 RC STRONG EXTRA

Potrubí s nejvyšší odolností vůči bodovému zatížení a pomalému šíření trhlin splňující normu PAS 1075 II.

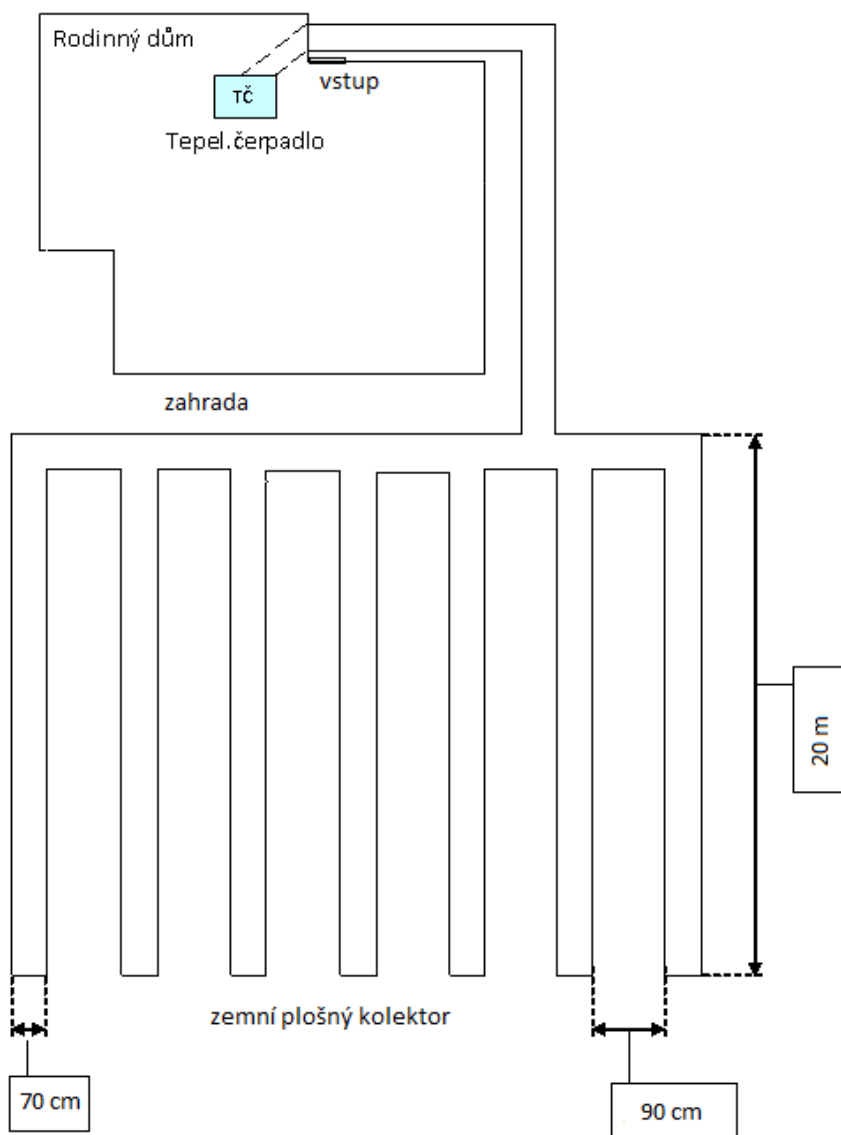
	Průměr (mm)	Hmotnost (kg/m)	Tlaková řada (bar)	Skladem moduly (m)	Cena (Kč/m)
	32 x 3,0	0,27	16	100, 150, 180, 200	38,-
	40 x 3,7	0,43	16	100, 150, 200	56,-
Délkový modul pro výrobu je á 10m (50, 100 m, 110 m, 120 m.....300 m).					

*potrubí s vnější signální vrstvou zelené barvy (10% síly stěny)

Obrázek 6.6 Přehled technických parametrů potrubí PE100 RC STRONG EXTRA

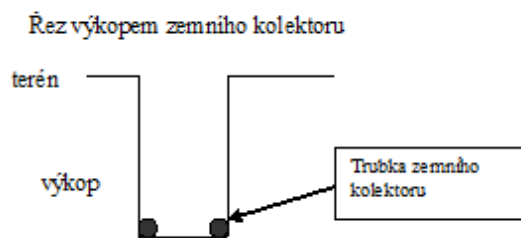
Pro vytápěný objekt je použito 300 m dlouhé potrubí PE RC STRONG EXTRA 40x3,7 mm. Celkem je vytvořeno 7 výkopů. Každý výkop je 130 cm hluboký a 70 cm široký a 20 m dlouhý. Výkopy jsou od sebe vzdálené 90 cm. Celý kolektor zabere

plochu zahrady přibližně 10,3 m x 20 m. K tepelnému čerpadlu NIBE F1245/6 může být připojen pouze jeden okruh v dimenzovaném potrubí 40x3,7 mm. Pro slabší potrubí by muselo být použito více okruhů, protože tření kapaliny v trubkách už by bylo moc velké.



Obrázek 6.7 Rozmístění plošného kolektoru na pozemku

Na obrázku 6.7 je náčrt rozmístění plošného kolektoru pro tepelné čerpadlo NIBE F1245/6. Umístění kolektoru je za vytápěným objektem v části zahrady. Vývod trubek kolektoru je před domem, kde je nejkratší cesta k tepelnému čerpadlu umístěnému v technické místnosti. Z přední části domu pokračuje vedení kolektoru za roh domu, kolem jižní strany domu až na zahradu. Do výkopů se vleze potrubí přibližně o délce 280 m. Jelikož máme 300 m dlouhé potrubí, tak se může na místě trochu improvizovat rozmístění tak, aby vyšlo vedení i k přívodu do domu. Musí být ale dodrženy minimální vzdálenosti a rozestupy trubek.



Obrázek 6.8 Řez výkopem zemního kolektoru

Na obrázku 6.8 je zobrazen řez výkopem zemního kolektoru. Trubky jsou od sebe vzdáleny přibližně 70 cm, tak jak je šířka výkopu.

6.2.3 Montáž, umístění a servis

Montáž probíhá zase autorizovanou firmou daného tepelného čerpadla. V první řadě se nachystá primární okruh za pomoci výkopových prací. Následně se položí zemní plošný kolektor do země a okruhy se spojí ve sběrači/rozdělovači, který je umístěn vedle domu. Ze sběrače/rozdělovače vedou dvě trubky přímo do jednotky tepelného čerpadla. Objem nemrznoucí kapaliny do plošného kolektoru se počítá 1 l kapaliny na 1 m hadice. Pro danou instalaci se jedná o 300 l nemrznoucí kapaliny. Veškeré venkovní potrubí musí být izolováno proti kondenzaci kapaliny. Dále musí být nainstalována vyrovnávací nádoba na vstupním potrubí nad vnitřní jednotkou tepelného čerpadla. Pod vyrovnávací nádobu je zapojen pojistný ventil. Zásobník TUV má svoji vyrovnávací nebo expanzní nádobu. Naplní se topný okruh, klimatizační okruh. Před spuštěním se musí veškeré soustavy odvzdušnit a zkontrolovat tlaky. Jednotka je připojena na třífázovou soustavu 3x400 V.

Vnitřní jednotka NIBE F1245/6 je umístěna v technické místnosti 102. Před jednotkou musí být volný prostor 80 cm, kvůli snadnému servisu a údržbě. Ze dvou bočních stran stačí volný prostor 5 cm. Místo, kde se instaluje tento typ jednotky, musí mít v místnosti podlahovou výpust. Součástí dodávky vnitřní jednotky je čidlo venkovní teploty, pokojové čidlo teploty, vyrovnávací nádoba, pojistný ventil (3 bar) a proudová čidla.

Servis provádí autorizovaná firma jednou za rok. Servis se provádí v létě, kdy je tepelné čerpadlo vypnuté, nebo nejede v plném provozu na ohřev TUV. V případě poruchy se jednotka přepne do nouzového režimu a je nutno zavolat technika.

6.2.4 Shrnutí a náklady NIBE F1245/6

Jednotka NIBE F1245/6 je kompletní tepelné čerpadlo země/voda, které slouží primárně pro vytápění rodinného domu a ohřevu teplé užitkové vody v integrovaném zásobníku o objemu 180 litrů. Za pomoci vysoce účinného kompresoru a dimenzovaného okruhu chladiva má TČ velmi vysokou účinnost. Jeho topný faktor má hodnotu 5 pro nízkoteplotní topnou soustavu 35 °C při venkovní teplotě 0 °C. V celém systému jsou použita energeticky úsporná výkonově řízená oběhová čerpadla, která také ušetří dost

energie. Jednotka pracuje celý rok jako monovalentní zdroj. V případě velmi silných mrazů je sepnut vestavěný elektrokotel o výkonu 9 kW. V tepelném čerpadlu se nachází GSM modul, a tak je možné ho ovládat a kontrolovat pomocí SMS. Dále je možnost připojení k internetu, a ovládat ho tak z tabletu nebo chytrého telefonu.

Tabulka 6.6 Technické údaje - TČ NIBE F1245/6

Technické údaje - Tepelné čerpadlo NIBE F1245/6		
(+0 °C / +35°C)	Příkon	1,3 kW
	Tepelný výkon	6,5 kW
	COP	5
Sezónní energetická účinnost	Nízkoteplotní (35°C)	(třída A++)
	Středně teplotní (55°C)	(třída A++)
Roční spotřeba energie	Nízkoteplotní (35°C)	3082 kWh
	Středně teplotní (55°C)	3492 kWh

V tabulce 6.6 jsou uvedeny základní technické parametry jednotky NIBE F1245/6. Je zde uvedena sezónní energetická účinnost a roční spotřeba energie pro nízkoteplotní a středně teplotní topnou soustavu. Z tabulky je patrné, že nejefektivnější je čerpadlo pro nízkoteplotní podlahové nebo stropní vytápění. Příkon, tepelný výkon a topný faktor je uveden jen pro nízkoteplotní topnou soustavu. V případě použití klasické radiátorové soustavy topný faktor klesne cca o 1, ale i tak pořád topný faktor dosahuje slušné hodnoty. Jediná nevýhoda tohoto provedení je, že nemůže být použito chlazení objektu za použití zemního plošného kolektoru.

Tabulka 6.7 Pořizovací náklady tepelné čerpadlo NIBE F1245/6

Pořizovací náklady - Tepelné čerpadlo NIBE F1245/6	
Název	Cena [Kč]
Tepelné čerpadlo 1245/6	176 000
Plnicí sada primárního okruhu	2 500
Potrubí PE RC STRONG EXTRA 40x3,7 300 metrů	16 800
Akční sleva na potrubí	-11 300
Montáž potrubí zemního kolektoru	8 000
Nemrznoucí směs	3 500
Výkopy	10 000
Elektro - materiál, montáž, revizní zpráva, seřízení	3 500
Doprava a přeprava	3 000
Celková cena bez DPH	242 000
Celková cena s DPH 15 %	278 300

V tabulce 6.7 jsou uvedeny pořizovací náklady na tepelné čerpadlo NIBE F1245/6. Instalaci a servis provádí firma TEPELNÁ ČERPADLA LUDVÍK s.r.o., která je autorizovaným partnerem tepelných čerpadel NIBE. Celková cena včetně dopravy, montáže, spuštění a školení je **278 300 Kč**.

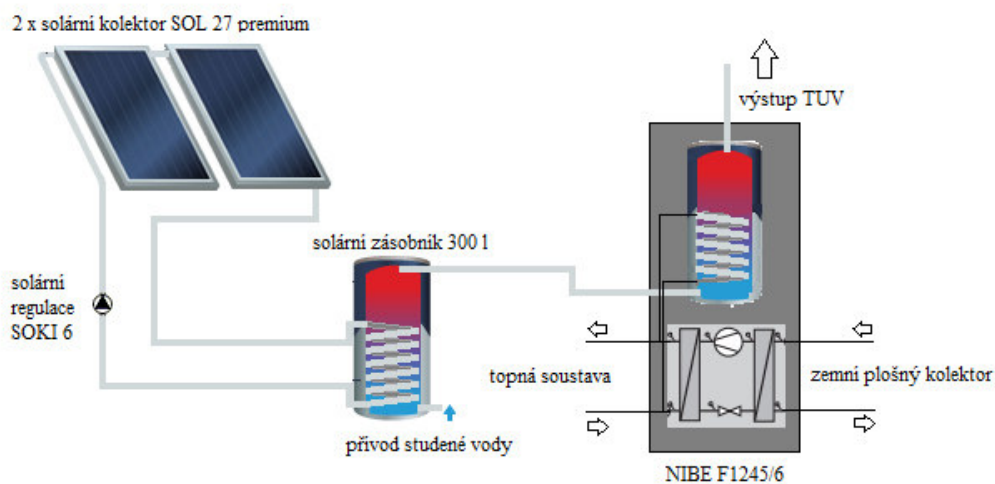
Všechny podklady a kalkulaci poskytla firma TEPELNÁ ČERPADLA LUDVÍK s.r.o. Firma má sídlo v obci Plešovec u Kroměříže. Popis celého zařízení včetně celkových nákladů je odsouhlasen jednatelem firmy.

6.3 Tepelné čerpadlo NIBE F1245/6 + Solární předehřev užitkové vody

Pro třetí variantu ekologického vytápění je zvoleno již použité tepelné čerpadlo země/voda. Konkrétně se jedná o stejnou jednotku jako v kapitole 6.2, a to NIBE F1245/6 v kombinaci se solárním předehřevem vody. Základní komponenty solárního předehřevu vody tvoří solární kolektory, solární zásobník TUV a pohonná jednotka s regulací. Hlavním cílem této kombinace je snížení roční spotřeby energie tepelného čerpadla. To se docílí tím, že solární kolektory ohřejí vodu v solárním zásobníku a tato předehřátá voda koluje dál do zásobníku TUV. Předehřátá voda má teplotu, která je závislá na slunečním svitu. Čím větší teplotu má předehřátá voda ze solárního kolektoru, tím méně musí tepelné čerpadlo dohřívat vodu v zásobníku TUV, který je součástí jednotky NIBE F1245/6. Například když máme ohřátou vodu v solárním zásobníku na teplotu 45 °C, tak tato voda koluje dál do zásobníku TUV v tepelném čerpadle, kde se dohřeje jen o 10 °C. Tímto se docílí menší vytiženost tepelného čerpadla, kompresor jede na nižší otáčky, a sníží se tak spotřeba elektrické energie.

6.3.1 Zapojení solárního předehřevu TUV s tepelným čerpadlem

Pro konkrétní zapojení jsou vybrány dva solární kolektory SOL 27 premium od firmy Stiebel Eltron. Dále je použita solární regulace SOKI 6, která obstarává cirkulaci v solárním okruhu. Tento okruh je naplněn nemrznoucí teplotnosnou kapalinou. Jako poslední věc je použit solární zásobník pro TUV o objemu 300 l od firmy Dražice.



Obrázek 6.9 Schéma zapojení solárního předehřevu s tepelným čerpadlem

Na obrázku 6.9 je schéma zapojení solárního předehřevu TUV k tepelnému čerpadlu země/voda. Na střeše domu jsou umístěny dva solární kolektory, které jsou zapojeny do solárního zásobníku umístěného v technické místnosti. Do tohoto

zásobníku vede přívod studené vody z řádu. Výstup ohřáté TUV ze solárního zásobníku vede přímo do přívodu zásobníku TUV tepelného čerpadla. Mezi kolektory a solárním zásobníkem je zapojena solární regulace SOKI 6. Tato regulace obsahuje oběhové čerpadlo, kterým řídí cirkulaci teplotnosného média.

6.3.2 Plochý solární kolektor SOL 27

Pro tuto realizaci přehřevu TUV jsou použity dva solární kolektory SOL 27 premium S, které jsou nainstalovány na jižní stranu střechy domu. Sklon střechy je 22 °, což je ideální pro instalaci těchto kolektorů.

Jedná se o plochý solární kolektor SOL 27 premium od značky Stiebel Eltron. Tento kolektor dokáže přeměnit 95 % slunečního záření na využitelnou energii, v tomto případě pro ohřev TUV. Vynikající účinnost je dosažena za pomoci přesného sladění inovovaných použitých materiálů s ověřenou technikou. Špičkové hodnoty absorpce zajišťuje selektivní vakuová povrchová úprava MiroTherm a antireflexní sklo. Technické údaje kolektoru SOL 27 premium jsou uvedeny v tabulce 6.8.

Tabulka 6.8 Technické údaje solárního kolektoru SOL 27 Premium S

Technické údaje - Solární kolektor SOL 27 premium S	
Provedení	na střechu
Konstrukce	svislá
Připojení	spoj 22 mm
Celková plocha	2,54 m ²
Plocha absorbéru	2,38 m ²
Maximální klidová teplota	> 210 °C
Rozměry VxŠxH	2,171 m x 1,171 m x 0,096 m
Hmotnost	40 kg
Max provozní tlak	0,6 Mpa
Objem kapaliny	1,5 l
Účinnost	82,30%

Tyto kolektory zabírají na střechu přibližně 5,08 m² a jejich účinnost je 82,30 %. Popis a složení tohoto typu kolektoru je popsáno v kapitole 2.1.2.

6.3.3 Kompaktní solární regulace SOKI 6 plus

Velice důležitým prvkem soustavy mezi solárními kolektory a zásobníkem TUV je kompaktní solární regulace SOKI 6 plus. Tato regulace obsahuje oběhové čerpadlo, které zajišťuje cirkulaci teplotnosného média v solárním okruhu. Součástí jsou i snímače, které hlídají důležité veličiny v celém systému, jako jsou například tlak a teplota kapaliny. K solární regulaci je napojena expanzní nádoba, která hlídá dostatečné množství v systému. Je zde napojen i pojistný ventil pro případ nouze. Systém má svoji řídicí jednotku s displejem, která vyhodnocuje veličiny a na základě toho reguluje systém pomocí otáček třístupňového oběhového čerpadla. Průtok kapaliny je měřen optickým vestavěným měřidlem. Celá kompaktní regulace je izolována, aby nevznikaly ztráty v obvodu. Kompaktní provedení této solární regulace je zobrazeno na obrázku 6.10 na další straně.



Obrázek 6.10 Kompaktní solární regulace SOKI 6 plus

V tabulce 6.9 jsou zobrazeny základní technické parametry použité regulace SOKI 6 plus.

Tabulka 6.9 Technické parametry Solární regulace SOKI 6 plus

Technické údaje - Solární regulace SOKI 6 plus	
Příkon	44/63/83 W
Max. provozní teplota	120 °C
Maximální tlak	0,6 MPa
Ukazatel měřidla objemu	1 - 15 l/min
Hmotnost	5,3 kg
Elektrické připojení	1 fáze / 230 V / 50 Hz
Rozměry VxŠxH	56,4 cm x 30,6 cm x 15 cm

6.3.4 Solární zásobník 300 l

Pro ohřev teplé užitkové vody slouží solární zásobník OKC 300 NTR/HP, který má zabudovaný výměník, kde proudí teplotonosná kapalina ze solárních kolektorů. Do zásobníku je přivedena studená voda z řádu a výstup ze zásobníku vede do zásobníku TUV, který je zabudovaný v tepelném čerpadle.

Tabulka 6.10 Technické údaje - Solární nádrž OKC 300 NTR/HP

Technické údaje - OKC 300 NTR/HP	
Třída energetické účinnosti	C
Stálá ztráta	72 W
Objem zásobníku teplé vody	286 l
Objem výměníku	16 l
Hmotnost bez vody	138 kg
Materiál	smalt
Rozměry VxŠxH	158 cm x 85,3 cm x 85,3 cm
Výkon Výměníku	100 kW

V tabulce 6.10 jsou uvedeny základní technické parametry zásobníku OKC 300 NTR/HP.



Obrázek 6.11 Solární zásobník TUV OKC 300 NTP/HP

Na obrázku 6.11 je zobrazen použitý zásobník OKC 300 NTP/HP, kde je vidět i vnitřní uspořádání jednoho výměníku. Uvnitř je nerezová nádrž na TUV a kolem ní je vysoce kvalitní izolace Covestro, která zajišťuje nízké tepelné ztráty a minimální provozní náklady.

6.3.5 Shrnutí a náklady solárního předehřevu užitkové vody

Pro kooperaci tepelného čerpadla země/voda se solárními kolektory je zvolena varianta solárního předehřevu užitkové vody. V systému jsou zapojeny dva výkonné solární kolektory SOL 27 premium, solární regulace SOKI 6 plus a solární zásobník TUV OKC 300 NTP/HP. Pohonná jednotka regulace SOKI 6 má třístupňové oběhové čerpadlo s odvzdušněním, optický měřič průtoku, pojistný ventil, manometr, teploměry, plnicí ventil, displej s počítadlem provozních hodin, funkci chlazení kolektoru. Schéma zapojení solárního systému k tepelnému čerpadlu je uvedeno na obrázku 6.9.

Tabulka 6.11 Pořizovací náklady - Solární předehřev vody

Pořizovací náklady - Solární předehřev vody	
Název	Cena [Kč]
2 x Kolektor SOL 27 premium	32 160
R2 montážní rám	3 320
2 x BP upevňovací sada pro taškovou střechu	3 144
Pohonná jednotka s regulací SOKI 6 plus	13 900
Solární zásobník OKC 300 NTR/HP	15 665
Nemrznoucí směs Solaren	2 500
Expanzní nádoba 18 l	1 780
2 x Montáž kolektoru se základním příslušenstvím	3 600
Připojení pohonné jednotky k solárnímu potrubí a zásobníku, montáž expanzomatu, pojistného ventilu, plnění, odvzdušnění	8 000
12 x Nerezové potrubí od pohonné jednotky k solár. panelům	7 920
Doprava a přeprava	3 000
Celková cena bez DPH	94 989
Celková cena s DPH 15 %	109 237

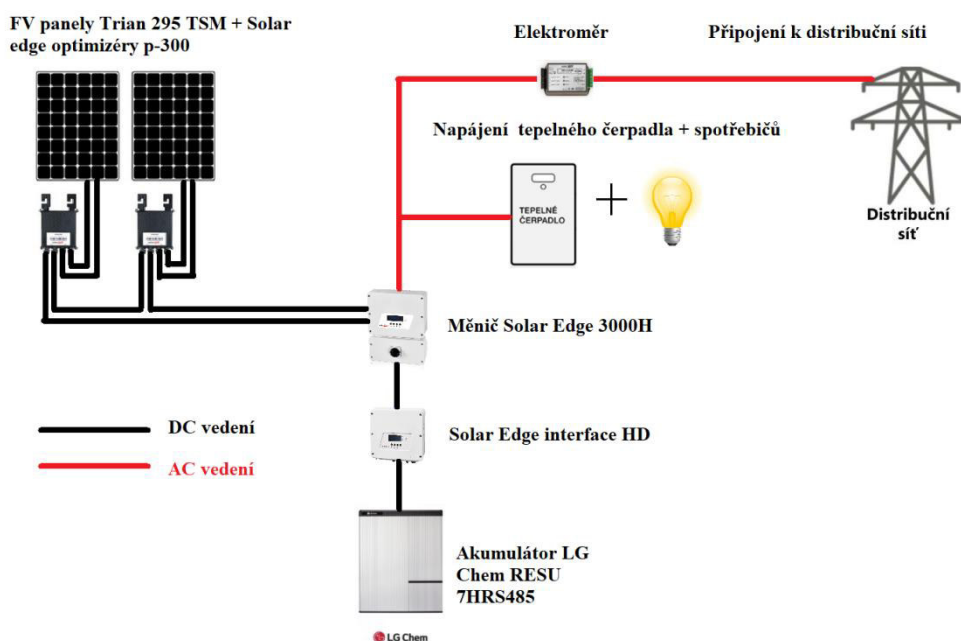
V tabulce 6.11 jsou uvedeny veškeré náklady na pořízení solárního předehřevu teplé užitkové vody. Instalaci provádí firma TEPELNÁ ČERPADLA LUDVÍK s.r.o. Celkové náklady na tuto solární soustavu jsou **109 237 Kč s DPH**.

Všechny podklady a kalkulaci poskytla opět firma TEPELNÁ ČERPADLA LUDVÍK s.r.o. Popis celého solárního předehřevu vody včetně celkových nákladů je odsouhlasen jednatelem firmy.

6.4 Tepelné čerpadlo NEORÉ 8TG TX + fotovoltaická elektrárna

Pro čtvrtou variantu ekologického vytápění je zvoleno stejné tepelné čerpadlo vzduch/voda NEORÉ 8TG TX, které je popsáno v kapitole 6.1. V tomto konceptu je tepelné čerpadlo doplněno o FV elektrárnu, která slouží jako napájení pro tepelné čerpadlo. Další funkcí FV elektrárny je zajistit záložní zdroj pro tepelné čerpadlo v případě výpadku elektrické energie z distribuční sítě.

Je použita jednofázová FV elektrárna o celkovém výkonu 3,54 kWp. Celá elektrárna se skládá z dvanácti monokrystalických FV panelů Trina 295 TSM, 1-fázového měniče Solar Edge 3000H, akumulátoru LG Chem RESU 7HRS485, střídače Solar Edge, zařízení pro ohřev vody Heistab reglet, měřících senzorů, kabeláže a konstrukčních prvků.

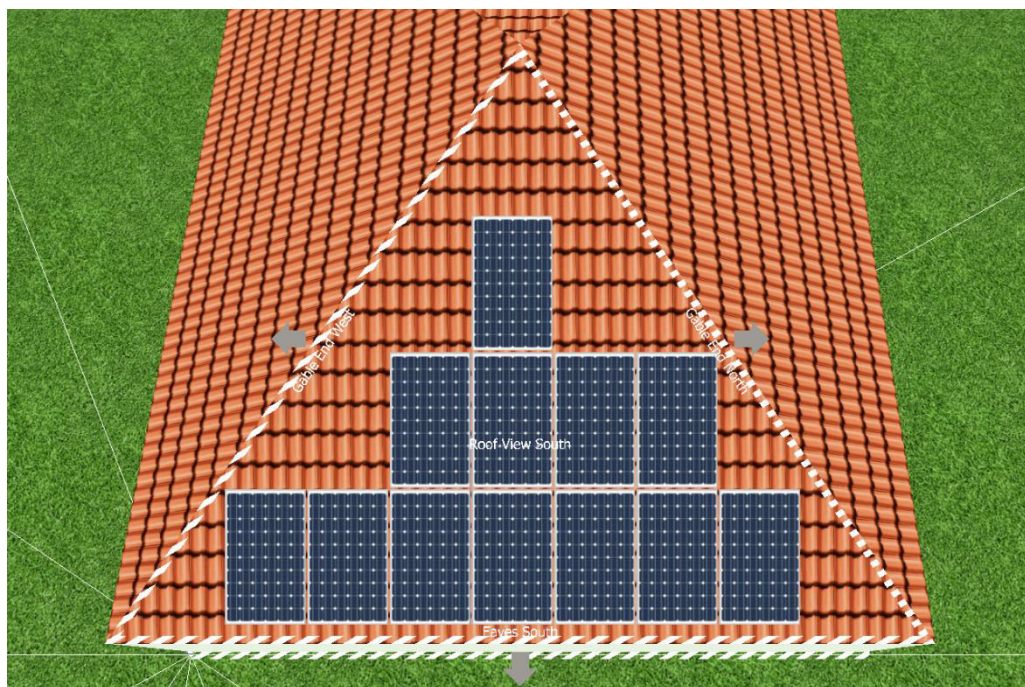


Obrázek 6.12 Schéma zapojení FV elektrárny

Na obrázku 6.12 je nakresleno blokové schéma zapojení konkrétní navržené FV elektrárny. Hlavní spojkou celé elektrárny je měnič (střídač) Solar Edge 3000H, který má za úkol přeměnit stejnosměrné napětí, ale také řídí celou soustavu. Do tohoto měniče je zapojeno dvanáct FV panelů včetně jejich optimizérů (MPPT regulátorů), akumulátorová banka LG, tepelné čerpadlo, spotřebiče a distribuční síť. Před napojením do distribuční sítě se nachází elektroměr. Dále mezi akumulátorem a měničem je zapojeno rozhraní SolarEdge interface, které zajišťuje připojení akumulátoru k FV elektrárně a chrání ho před přepětím.

6.4.1 FV panely TRINA 295 TSM

Pro navrhovanou elektrárnu jsou použity FV panely TRINA 295 TSM a každý panel má výkon 295 Wp. Jedná se o kvalitní monokrystalické panely od jednoho z největších výrobců na světě. Panely mají zesílené ochranné sklo a díky použité moderní technologii křemíkových článků zajistí vysoký výrobní zisk elektrické energie.



Obrázek 6.13 Rozmístění FV panelů na jižní část střechy domu

Na obrázku 6.13 je zobrazen pohled na jižní stranu střechy použitého objektu pro návrh vytápění. Pro zobrazení a uspořádání FV panelů je použit program PV sol. Celková plocha jižní strany střechy je $25,5 \text{ m}^2$ a sklon je 22° . Parametry jižní strany střechy jsou dostačující pro tento typ FV elektrárny. Na střeše je nainstalováno dvanáct FV panelů Trian s výkonem 295 Wp. Každý FV panel má svůj optimizér SolarEdge p-300 (MPPT regulátor). Tyto regulátory zajišťují stálý výkon elektrické energie, protože nastaví ideální pracovní bod napětí a proudu. Bez nastavení tohoto pracovního bodu je na výstupu FV panelu výkon velmi proměnlivý. Celková plocha nainstalovaných panelů má $19,64 \text{ m}^2$ a jejich celkový výkon je 3,54 kWp.

Tabulka 6.12 Mechanické parametry FV panelu Trian 295 TSM

Základní technické parametry - FV panel Trian 295 TSM	
Rozměry VxŠxH	165 cm x 99,2 cm x 3,5 cm
Hmotnost	18,6 kg
Typ článku	monokrystalický
Počet článku	60 (6 x 10)

V tabulce 6.12 jsou popsány základní technické parametry FV panelu Trian 295 TSM. Elektrické parametry tohoto panelu jsou popsány v tabulce 6.13 na následující

straně.

Tabulka 6.13 Elektrické parametry FV panel Trian 295 TSM

Elektrické parametry FV panel Trian 295 TSM	STC	NOCT
Napětí na prázdkno	39,6 V	36,8 V
Proud na krátko	9,68 A	7,82 A
Maximální napájecí napětí	32,5 V	30,1 V
Maximální proud	9,08 A	7,3 A
Maximální výkon	295 Wp	220 Wp
Účinnost	18%	-
Provozní teplota	(-40 až 85 °C)	

6.4.2 Měnič (střídač) Solar Edge 3000H

Pro tuto FV elektrárnu je použit hybridní měnič Solar Edge 3000H. Jedná se o jednofázový měnič, který je hlavní spojkou celého systému. Tento měnič je připojen na akumulátor LG Chem a zároveň na distribuční síť. Dále jsou do něho připojeny FV panely. Měnič je naprogramován tak, aby upřednostňoval elektřinu z akumulátoru před odběrem elektřiny z distribuční sítě. Primárně je nastaveno napájení z baterie pro tepelné čerpadlo, až poté pro ostatní spotřebiče. V případě velkého odběru, kdy baterie nedokáže pokrýt spotřebu, měnič může kombinovat elektřinu z baterií společně s elektřinou z distribuční sítě. Pokud je akumulátor vybitý, tak je automaticky odpojen a elektřina se čerpá jen ze sítě. Naopak pokud dojde k výpadku proudu z distribuční sítě, tak měnič přepne FV elektrárnu na ostrovní systém. Poté je odběr nastaven pouze z akumulátoru.



Obrázek 6.14 Měnič Solar Edge 3000H

Na obrázku 6.14 je zobrazen měnič Solar Edge 3000H, který je použit pro návrh.

Tabulka 6.14 Elektrické parametry - měnič Solar Edge 3000H

Elektrické parametry - měnič Solar Edge 3000H	
Maximální výstupní výkon (AC)	3000 VA
Maximální výstupní proud (AC)	14 A
Maximální vstupní výkon (DC)	4650 W
Maximální vstupní napětí (DC)	480 V
Maximální vstupní proud (DC)	9 A
Účinnost měniče	99,2 %

V tabulce 6.14 jsou uvedeny základní elektrické parametry pro hybridní měnič Solar Edge 3000H. Mimo tyto parametry měnič také podporuje několik komunikačních rozhraní, jako jsou například: RS485, Ethernet, ZigBee, Wifi a Cellular.

6.4.3 Akumulátor LG Chem

Jako jádro elektrárny je zvolen akumulátor německé značky LG Chem. Jedná se přesně o typ LG Chem RESU 7 HRS485. U této baterie je použita lithiová technologie LiFePO₄ (Lithium železo fosfát). Jmenovitá kapacita akumulátoru je 7 kWh, využitelná kapacita je 6,6 kWh a maximální dodávaný výkon je 3,5 kW. Koncepce baterie je vidět na obrázku 6.15.



Obrázek 6.15 Akumulátor LG Chem RESU 7

Mezi měničem a baterií je zapojen přístroj Solar Edge Interface HD, který slouží pro bateriový management. Toto rozhraní umožňuje aktivní bilancování jednotlivých článků a slouží jako jeho ochrana. Vybíjení je možné až do 80 % nominální kapacity (DoD). Při ročním provozu 250 cyklů má baterie životnost přibližně 20 let. Využitelná kapacita je až 90 % s prodlouženou zárukou 10 let.

6.4.4 Shrnutí a náklady FV elektrárny

Pro kooperaci tepelného čerpadla vzduch/voda NEORÉ 8TG TX s FV systémem je navržena tato FV elektrárna. Celkový výkon této elektrárny je 3,54 kWp. Je použito celkem 12 FV panelů Trina 295 TSM. Každý FV panel má nainstalovaný svůj optimizér, který reguluje nastavení jeho pracovního bodu výkonu. Díky těmto optimizérům je umožněn přehled o každém panelu zvlášť. Pomocí online rozhraní Solar Edge je možnost sledovat výkon každého panelu nebo celého systému. V aplikaci, která se používá pro správu FV elektrárny, je umožněno snadno nastavovat prioritu napájení konkrétního spotřebiče, sledovat množství vyrobené elektřiny, sledovat aktuální spotřebu, odpojit FV elektrárnu a další užitečné možnosti. Dále je v systému použit hybridní měnič Solar Edge 3000H a akumulátor LG Chem RESU s kapacitou 7kWh.

Primárně tato FV elektrárna slouží pro napájení tepelného čerpadla NEORÉ 8TG TX a jako jeho záložní zdroj v případě výpadku elektřiny z distribuční sítě. Přebytky, co nespotřebuje tepelné čerpadlo, jsou použity pro spotřebiče v domácnosti.

Tabulka 6.15 Pořizovací náklady - FV elektrárna

Pořizovací náklady - FV elektrárna	
Název	Cena [Kč]
12x FV panely Trina 295 TSM - PDD05H All black	43 572
12 x Střešní konstrukce Fischer - šikmá tašková střecha	12 120
Měnič Solar Edge 3000H	19 080
12 x Solar Edge optimizér p-300	15 444
Akumulátor LG Chem RESU 7HRS485	115 610
Zařízení pro ohřev vody dálkový přenos - Heistab - regler	12 189
Solar Edge měřicí sensor Typ 50A	2 530
Solar Edge interface HD	20 870
Kabeláž - ostatní, instalační materiál, příslušenství	5 500
Instalace FV panelů a konstrukce	12 240
Instalace a propojení jednotky Solar Edge a LG Chem battery	2 500
Parametrizace, zprovoznění a testování systému	1 500
Projektová dokumentace + revizní zpráva E.ON, NZU	13 000
Doprava	2 000
Celková cena bez DPH	278 155
Celková cena s DPH 15 %	319 878

V tabulce 6.15 jsou uvedeny pořizovací náklady na FV elektrárnu. Montáž a servis provádí firma Sun Pi s.r.o. Celková cena včetně materiálů, dopravy, montáže, testování a zaškolení je **319 878 Kč**.

Podklady pro jednotlivé komponenty FV elektrárny a cenovou kalkulaci poskytla firma Sun Pi s.r.o. Zpracování bylo konzultováno s jednatelem firmy.

7 ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole je popsáno energetické zhodnocení pro všechny varianty vytápění. V domě je navržena topná soustava s radiátory, která má teplotní spád 55°C/45°C. Pro každou variantu je tedy nutné počítat spotřebu energie pro výhřev středně teplotní soustavy 55°C. V první podkapitole je spočítána spotřeba daného objektu pro vytápění a ohřev TUV. Veškeré informace o spotřebě jsou poskytnuty od firem buď za pomoci naměřených hodnot tepelného čerpadla, nebo simulačních programů. Hodnoty se tedy blíží k reálné hodnotě, ale nikdy nebudou stoprocentně přesné. V dnešních extrémních klimatických výkyvech se mohou tepelné ztráty domu lišit v průběhu zimy. Může být krutá zima, kdy bude větší spotřeba, ale naopak může být mírná zima, kdy spotřeba pro vytápění bude o dost nižší. V energetické spotřebě tepelných čerpadel je zahrnut ohřev teplé užitkové vody také na teplotu 55°C.

Nejpřesnější spotřeba elektrické energie tepelného čerpadla se získá pouze měřením, což v tomto případě není možné, protože tepelné čerpadlo se teprve navrhuje pro daný objekt. Spotřeba elektrické energie pro tepelné čerpadlo se dá spočítat následujícími způsoby.

První způsob je podělení celkové roční spotřeby objektu (vytápění + ohřev TUV) a sezonního topného faktoru SCOP. Tím se získá celoroční spotřeba elektrické energie pro tepelné čerpadlo. Jelikož SCOP není konstantní veličina a mění se podle pracovních podmínek tepelného čerpadla, tak je nutné znát naměřenou hodnotu SCOP pro konkrétní topnou soustavu v domě. Podrobné informace o topných faktorech jsou uvedeny v kapitole 1.3.

Dalším způsobem pro výpočet je simulační program, který vypočítá spotřebu elektrické energie daného tepelného čerpadla pro vytápění a ohřev TUV. Takový simulační program mají jen největší firmy tepelných čerpadel, které jsou na celosvětovém trhu už delší dobu. Používají naměřená data ze svých nainstalovaných tepelných čerpadel, které používají pro zdokonalení svého softwaru pro navrhování vytápění. Jako vstupní data se zadávají klimatické podmínky, tepelná ztráta budovy, vybrané tepelné čerpadlo a spotřeba TUV pro domácnost.

7.1 Spotřeba objektu pro vytápění a ohřev TUV

Na základě klimatických podmínek pro vytápěný objekt (kapitola 3.3 – tabulka 3.2) a vypočtených tepelných ztrát objektu (kapitola 4.6 – tabulka 4.13) je v simulačním programu od firmy NIBE vypočítána roční spotřeba energie pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody. Pro výpočet spotřeby TUV je potřeba zadat odhadovanou spotřebu podle počtu lidí v domácnosti. Pro tento objekt jsou uvažovány 3 osoby s průměrnou denní spotřebou TUV přibližně **70 l**. Pro tento objekt je tedy odhadovaná spotřeba **210 l/den**.

Tabulka 7.1 Roční spotřeba energie pro daný objekt

Roční spotřeba energie pro objekt	
Potřeba energie pro vytápění	6 722 kWh/rok
Potřeba energie pro ohřev TUV	4 613 kWh/rok
Celková potřeba energie	11 335 kWh/rok

V tabulce 7.1 je uvedena vypočtená roční spotřeba energií pro objekt. Potřebná energie pro vytápění je 6 722 kWh/rok. Energie potřebná pro ohřev TUV je 4 613 kWh/rok. Celková potřeba energie pro vytápění a ohřev teplé vody je **11 335 kWh/rok**.

Kvůli nízkým tepelným ztrátám tohoto domu je energie pro vytápění poměrně dost malá, a tak je skoro vyrovnaný poměr celkové potřebné energie. U objektů s větší tepelnou ztrátou je energie pro vytápění minimálně dvojnásobná než energie pro ohřev TUV.

7.2 NEORÉ 8TG TX

Tento typ tepelného čerpadla vzduch/voda pokrývá celoroční spotřebu pro vytápění i ohřev TUV. Má v sobě zabudovaný bivalentní zdroj tepla, kterým je elektrokotel. Bivalentní teplota pro přidání elektrokotle k čerpadlu je -7 °C.

U tohoto typu tepelného čerpadla NEORÉ 8TG TX pro použití na topnou soustavu o teplotě 55°C a ohřevu TUV na stejnou teplotu 55 °C je naměřená spotřeba elektrické energie **3 036 kWh/rok**. Sezonní topný faktor SCOP je vypočítány jako poměr energie potřebné pro objekt (tabulka 7.1) a roční elektrické spotřeby tohoto tepelného čerpadla.

Tabulka 7.2 Roční spotřeba elektrické energie a SCOP - NEORÉ 8TG TX

Spotřeba elektrické energie a SCOP - NEORÉ 8TG TX	
Teplota pro ohřev TUV	55 °C
Teplota pro vytápění	55 °C
Roční spotřeba elektrické energie	3 036 kWh/rok
SCOP (vytápění / ohřev TUV)	3,73 / 3,73

V tabulce 7.2 je uvedena roční spotřeba elektrické energie pro tepelné čerpadlo NEORÉ 8TG TX. Celková roční spotřeba elektrické energie je **3 036 kWh/rok**. Sezonní topný faktor pro vytápění a ohřev TUV je **3,73**. Hodnota sezonního topného faktoru je tak vysoká, protože má objekt malé tepelné ztráty a v létě je na ohřev TUV tímto typem čerpadla spotřebováno málo energie.

7.3 NIBE F1245/6

Toto vybrané tepelné čerpadlo země/voda také pokryje celoroční vytápění objektu a ohřev TUV. Tepelné čerpadlo je napojeno na stejnou topnou soustavu s teplotou 55 °C a teplota pro ohřev TUV je 55 °C. Tento typ čerpadla má v sobě také zabudovaný elektrokotel pro výpomoc tepelnému čerpadlu v nepříznivých klimatických podmínkách v zimě. Na základě simulačního programu NIBE pro konkrétní objekt a tepelné čerpadlo je celková elektrická energie **3 586 kWh/rok**. Sezonní topný faktor je vypočítán stejným způsobem jako v minulé kapitole 7.2, ale již automaticky v simulačním programu NIBE.

Tabulka 7.3 Roční spotřeba elektrické energie a SCOP - NIBE F1245/6

Spotřeba elektrické energie a SCOP - NIBE F1245/6	
Teplota pro ohřev TUV	55 °C
Teplota pro vytápění	55 °C
Roční spotřeba elektrické energie	3 586 kWh/rok
SCOP (vytápění / ohřev TUV)	3,16 / 3,16

V tabulce 7.3 je uvedena roční spotřeba elektrické energie pro tepelné čerpadlo NIBE F1245/6. Celková roční spotřeba elektrické energie je **3 586 kWh/rok**. Sezónní topný faktor je **3,16** pro vytápění i ohřev TUV.

Tento typ čerpadla má větší spotřebu energie než předchozí tepelné čerpadlo vzduch/voda. Jedním z důvodů je třífázový provoz tohoto čerpadla a dražší ohřev TUV v letních měsících než má tepelné čerpadlo vzduch/voda. Při vyšší tepelné ztrátě objektu by mělo toto tepelné čerpadlo nižší provozní náklady než vzduch/voda.

7.4 NIBE F1245/6 + solární přehřev TUV

V této koncepci zapojení je použito stejné tepelné čerpadlo NIBE F1245/6 jako v předchozí variantě. Toto čerpadlo slouží pro vytápění objektu a ohřevu TUV. Pro tento návrh je zvolen solární přehřev vody pomocí solárních kolektorů nainstalovaných na střeše. Další nezbytnou součástí pro přehřev TUV je solární zásobník. Hlavním cílem je snížit elektrickou energii tepelného čerpadla, kterou spotřebuje na ohřev TUV.

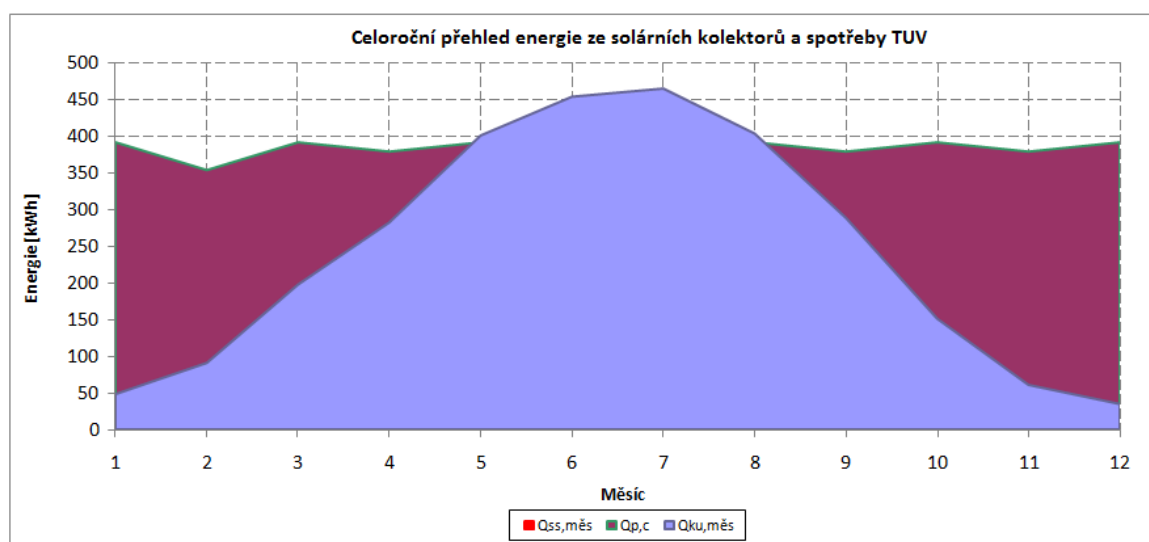
Pro výpočet energetického zisku ze solárních kolektorů je použit program od Ministerstva životního prostředí. Jedná se o volně dostupný dokument v excelu, kde lze vypočítat zisky solárních kolektorů. Tento program je dostupný na webové stránce www.zelenausporam.cz.

Pro výpočet se zadávají informace o spotřebě a teplotě TUV, klimatické podmínky objektu, tepelná ztráta objektu a hlavně parametry solárních kolektorů. Ke kolektorům se zadává optická účinnost, lineární součinitel tepelné ztráty, kvadratický součinitel tepelné ztráty, počet kolektorů, jejich plocha, orientace a sklon. Sklon nelze nastavit přesně na jednotlivé stupně. Lze nastavit 0 °, 15 °, 30 °, 45°. Na konkrétním objektu je sklon střech 22 °, takže pro tento výpočet je převzata nejbližší hodnota a to je 15 ° sklon. Rozdíl ve sklonu 15 ° v programu je asi 120 kWh. Nastavení vstupních hodnot s rozdílem 7 ° ve sklonu je dostačující pro orientační výpočet.

V tabulce 7.4, která je na následující stránce, je přehled zisku solární energie pro jednotlivé měsíce. Energie potřebná pro ohřev TUV celého objektu za celý rok je **4 613 kWh**, značí se $Q_{p,c}$. Celková získaná energie ze solárních kolektorů je **2 883 kWh** a značí se jako $Q_{ku,m\acute{e}s}$. Reálně využitá energie ze solárních kolektorů je **2 711 kWh** a značí $Q_{ss,m\acute{e}s}$. Přebytky nevyužitá solární energie jsou označeny $Q_{ss,p\acute{r}ebytky}$. Za celý rok je přebytek jen 172 kWh, což je zanedbatelná hodnota.

Tabulka 7.4 Přehled energetických zisků se solárních kolektorů

Zisk solární energie													
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Celkem
$Q_{p,c}$ [kWh]	392	353	392	379	392	379	392	392	379	392	379	392	4613
$Q_{ku,měs}$ [kWh]	48	91	198	283	402	455	466	404	289	151	61	35	2883
$Q_{ss,měs}$ [kWh]	48	91	198	283	392	379	392	392	289	151	61	35	2711
$Q_{ss,přebytky}$ [kWh]	0	0	0	0	10	76	74	12	0	0	0	0	172



Obrázek 7.1 Celoroční přehled energie ze solárních kolektorů a spotřeby TUV

Na obrázku 7.1 je grafické zobrazení vyrobené solární energie a spotřeby TUV za celý rok pro jednotlivé měsíce. Červené pole značí spotřebu TUV pro domácnost za každý měsíc. Fialové pole značí energii, která je čerpaná ze solárních kolektorů. Na základě toho je vidět, že solární kolektory dokážou pokrýt ohřev TUV jen pro květen červen, červenec. Mimo tyto měsíce musí TUV dohřívat tepelné čerpadlo. Nejméně tyto kolektory vyrobí během zimních měsíců, kdy je krátký den a slunce moc nesvítlí.

Na základě získané energie **2 711 kWh** ze solárních kolektorů se tato energie odečte v programu NIBE od energie potřebné pro ohřev TUV samotného tepelného čerpadla NIBE F1245/6. Po odečtení solárního zisku od roční spotřeby TUV v domě musí tepelné čerpadlo pokrýt energii **1902 kWh** pro ohřev TUV. To znamená, že solární kolektory pokryjí 59 % ohřevu TUV. Na základě simulačního programu NIBE po přiřazení solárního přehřevu je za rok spotřebováno tepelným čerpadlem **2 826 kWh** elektrické energie.

Přidáním solárního přehřevu je celková úspora elektrické energie na tepelném čerpadle **760 kWh**.

7.5 NEORÉ 8TG TX + FV elektrárna 3,54 kWp

Pro poslední variantu je použito tepelné čerpadlo vzduch/voda NEORÉ 8TG TX, ke kterému je doplněna FV elektrárna o výkonu 3,54 kWp. Tato elektrárna slouží primárně pro napájení tepelného čerpadla a v případě výpadku distribuční sítě slouží jako záložní zdroj.

Pro orientační výpočet zisku elektrické energie z této FV elektrárny je použitý online program PVGIS, který je dostupný na webové adrese:

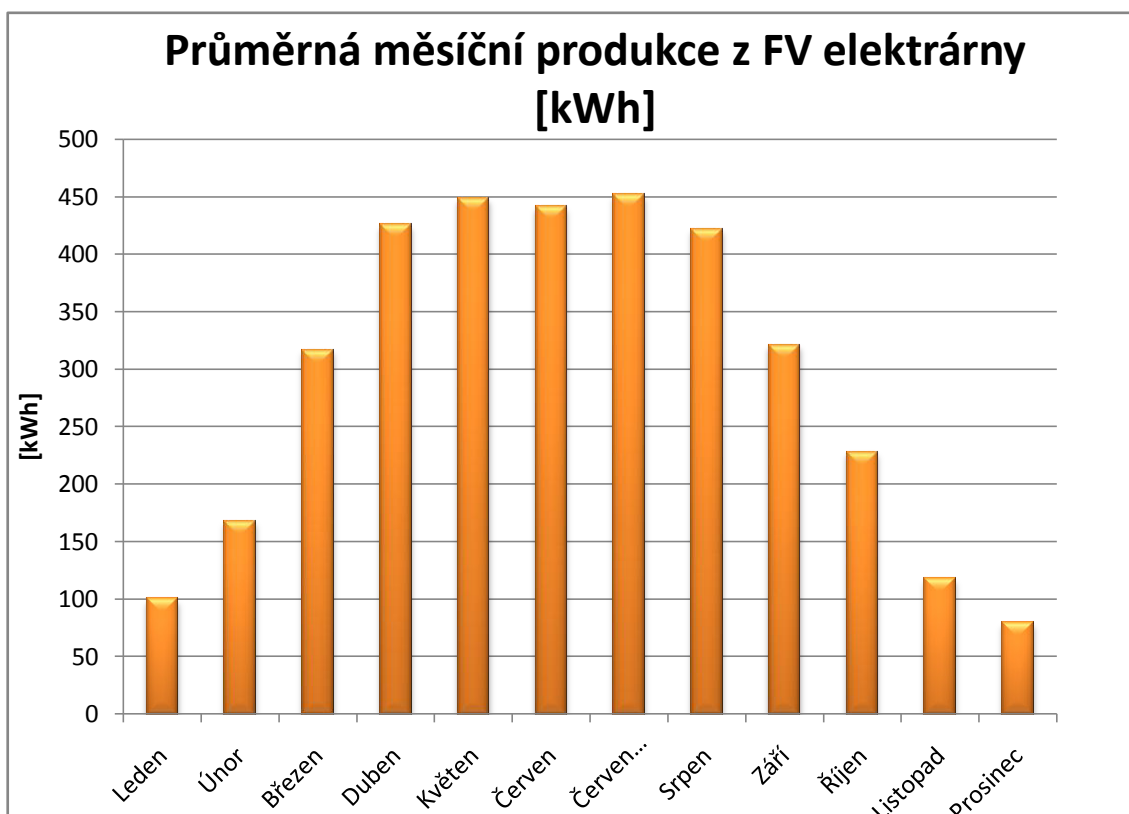
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>.

Na střeše domu je nainstalovaných dvanáct FV panelů o výkonu 3,54 kWp, které jsou orientovány na jih a mají sklon 22 °. Účinnost těchto panelů je udávána 18 %. Na základě technických údajů z návrhu FV elektrárny jsou uvedeny celkové ztráty pro celý systém 11 %. V programu jsou vybrány přesné souřadnice objektu, takže výstupní hodnoty simulací jsou přímo pro dané místo umístění FV elektrárny.

Tabulka 7.5 Přehled ročního zisku FV elektrárny 3,54 kWp

Zisk FV elektrárny 3,54 kWp			
Měsíc	Průměrná produkce elektřiny za den [kWh]	Průměrné měsíční množství slunečního záření na m ² [kWh/m ²]	Průměrná produkce elektřiny za měsíc [kWh]
Leden	3,23	33,6	100
Únor	6,00	57,1	168
Březen	10,20	113	317
Duben	14,20	160	426
Květen	14,50	172	449
Červen	14,70	173	442
Červenec	14,60	179	452
Srpen	13,60	165	422
Září	10,70	121	321
Říjen	7,34	81,8	228
Listopad	3,93	41	118
Prosinec	2,56	26,8	79,5
Celkem za rok			3523

V tabulce 7.5 je uveden přehled zisku z FV elektrárny. V prvním sloupci jsou uvedeny jednotlivé měsíce v roce. Ve druhém sloupci je průměrná produkce elektřiny za den. Ve třetím sloupci je průměrné měsíční množství slunečního záření na m². Průměrná měsíční produkce FV elektrárny je uvedena ve čtvrtém sloupci. Celkový předpokládaný roční zisk této elektrárny je **3 523 kWh**.



Obrázek 7.2 Průměrná produkce elektřiny z FV elektrárny za jeden měsíc

Na obrázku 7.2 je zobrazena průměrná předpokládaná produkce z FV elektrárny. Je vidět, že nejvíce elektrárna vyrobí od dubna do srpna. Mimo tyto měsíce produkce klesá. V období od listopadu do konce února je elektrická energie využita jen pro tepelné čerpadlo. V době, kdy vyrobí FV elektrárna nejvíc, jsou přebytky využity pro domácí spotřebiče.

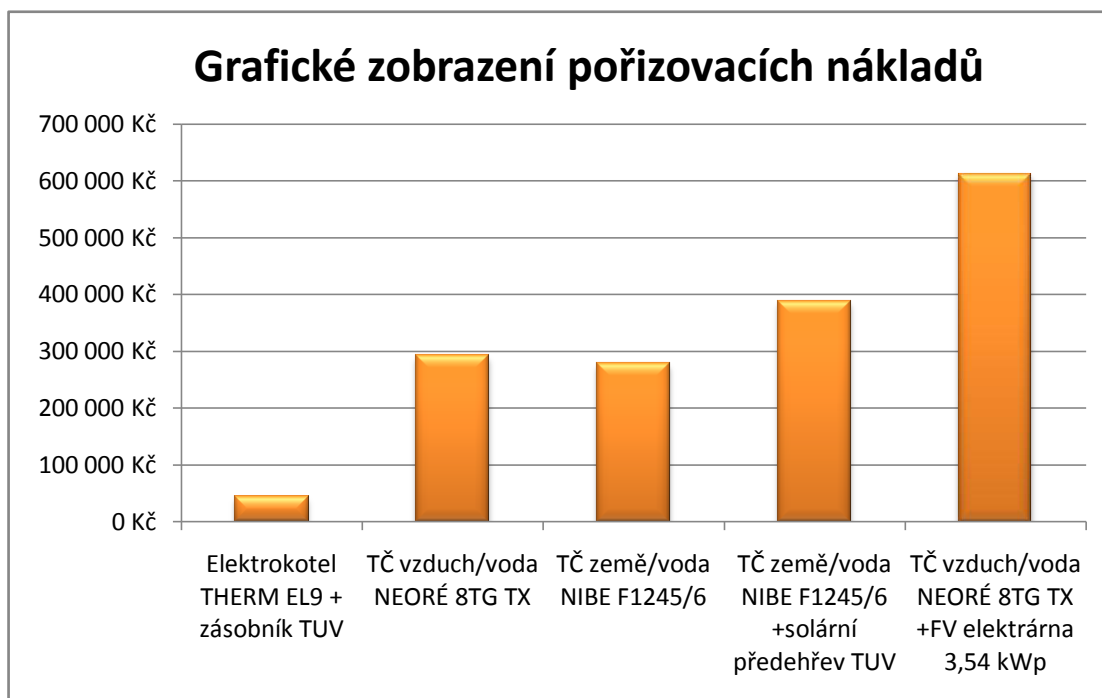
8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Tato kapitola se zabývá ekonomickou návratností jednotlivých alternativních návrhů vytápění s již nainstalovaným elektrokotlem. Nebude započítána ani stávající nainstalovaná topná soustava, v konkrétním případě se jedná o klasické radiátory se spádem 55°C/45°C. V první podkapitole je shrnutí pořizovacích nákladů (Tabulka 8.1) jednotlivých zdrojů vytápění včetně grafického zobrazení (Obrázek 8.1). Ve druhé podkapitole je vypočítána roční cena za spotřebovanou elektrickou energii včetně všech poplatků. Třetí podkapitola se zabývá možnostmi na čerpání dotačního programu Nová zelená úsporám pro zdroje energie. V poslední části je uvedeno ekonomické zhodnocení a návratnost jednotlivých návrhů.

8.1 Shrnutí pořizovacích nákladů

Tabulka 8.1 Pořizovací náklady jednotlivých zdrojů vytápění

Pořizovací cena jednotlivých zdrojů vytápění	
Název zdroje	Celková cena (včetně DPH)
Elektrokotel THERM EL9 + zásobník TUV	44 159 Kč
TČ vzduch/voda NEORÉ 8TG TX	291 825 Kč
TČ země/voda NIBE F1245/6	278 300 Kč
TČ země/voda NIBE F1245/6 + solární předehřev TUV	387 537 Kč
TČ vzduch/voda NEORÉ 8TG TX + FV elektrárna 3,54 kWp	611 703 Kč



Obrázek 8.1 Grafické zobrazení pořizovacích nákladů zdrojů vytápění

8.2 Roční cena za elektrickou energii

Daný objekt se nachází v distribuční oblasti E.ON Distribuce, a.s. a poskytovatel elektrické energie je firma MND. Cena je stanovena ze základního ceníku **Produkt Proud – Domácnosti** platný od 15.4.2019. Na základě tohoto ceníku je pro elektrokotel určena sazba **D57d** a pro varianty s tepelným čerpadlem sazba **D56d**. V domě je nainstalovaný jistič 3 x 25 A.

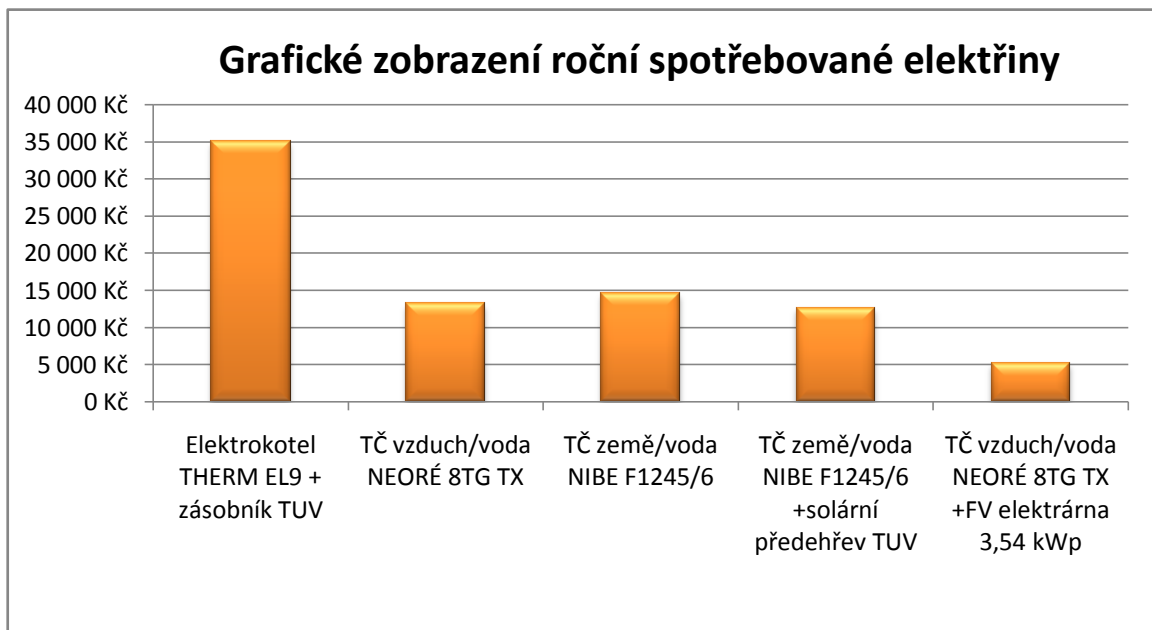
Pro elektrokotel je určena sazba **D57d**, kde platí vysoký tarif 4 hodiny denně a jeho poplatek za něj je 2,1 Kč za 1 kWh. Nízký tarif platí po dobu 20 hodin denně a je za něj sazba 1,92 Kč/1 kWh. Paušál za 1 kWh je 0,73 Kč a zahrnuje cenu systémových služeb, podporu elektřiny z obnovitelných zdrojů a daň z elektřiny.

Pro tepelná čerpadla je přiřazena sazba **D56d**, kde je vysoký tarif 2 hodiny denně a jeho cena je 2,22 Kč/kWh. Nízký tarif se čerpá 22 hodin denně za cenu 1,86 Kč/kWh. Paušál za 1 kWh je stejný jako pro sazbu **D57d** a jeho cena je 0,72 Kč/kWh.

Tabulka 8.2 Cena za roční elektrickou energii spotřebovanou pro vytápění a ohřev TUV

Cena za elektrickou energii spotřebovanou pro vytápění a ohřev TUV						
Název zdroje	roční spotřeba elektrické energie	Vysoký tarif [Kč]	Nízký tarif [Kč]	Paušál za 1 kWh [Kč]	Poplatek za jistič [Kč]	Celkem za rok [Kč]
Elektrokotel THERM EL9 + zásobník TUV	11 335 kWh	3980	18164	8218	4687	35049
TČ vzduch/voda NEORÉ 8TG TX	3 036 kWh	562	5190	2201	5224	13178
TČ země/voda NIBE F1245/6	3586 kWh	664	6131	2600	5224	14619
TČ země/voda NIBE F1245/6 + solární předehřev TUV	2 826 kWh	524	4831	2049	5224	12628
TČ vzduch/voda NEORÉ 8TG TX + FV elektrárna 3,54 kWp	spotřeba 0 kWh (přebytek z FV - 487 kWh)	0	0	0	5224	5224

V tabulce 8.2 je přehled nákladů na elektřinu za celý rok pro všechny varianty vytápění. Nejdražší je provoz elektrokotle. Nejlevnější provoz z hlediska elektrické energie je tepelné čerpadlo v kooperaci s FV elektrárnou. Tato FV elektrárna pokryje celoroční spotřebu elektrické energie čerpadla. Grafické zobrazení ročních nákladů za elektřinu, která se použije pro vytápění a ohřev TUV, je na obrázku 8.2.



Obrázek 8.2 Grafické zobrazení roční spotřebované elektřiny pro jednotlivé zdroje vytápění

8.3 Dotace

Při realizaci výměny neekologického vytápění za ekologické vytápění se dá využít dotační program Nová zelená úsporám. Kromě výměny zdroje vytápění se dá tento dotační program využít při instalaci solárního termického systému pro ohřev vody, nebo nainstalování fotovoltaické elektrárny pro výrobu elektrické energie. Veškeré zařizování ohledně čerpání dotací nabízí firmy, které realizují daný druh vytápění nebo alternativní zdroj pro daný objekt. Přehled dotací, které se dají uplatnit pro návrhy vytápění v této práci, jsou zobrazeny v tabulce 8.3.

Tabulka 8.3 Přehled dotací pro zdroje vytápění použité v této práci

Přehled dotací	
Typ zdroje	Výše podpory [Kč]
Tepelné čerpadlo vzduch/voda (zateplený objekt)	75 000
Tepelné čerpadlo země/voda (zateplený objekt)	100 000
Solární termický systém pro přípravu teplé užitkové vody	35 000
FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem > 3 000 kWh.rok-1	100 000

Informace o výši dotačního programu je převzata z webové stránky <https://www.novazelenausporam.cz>.

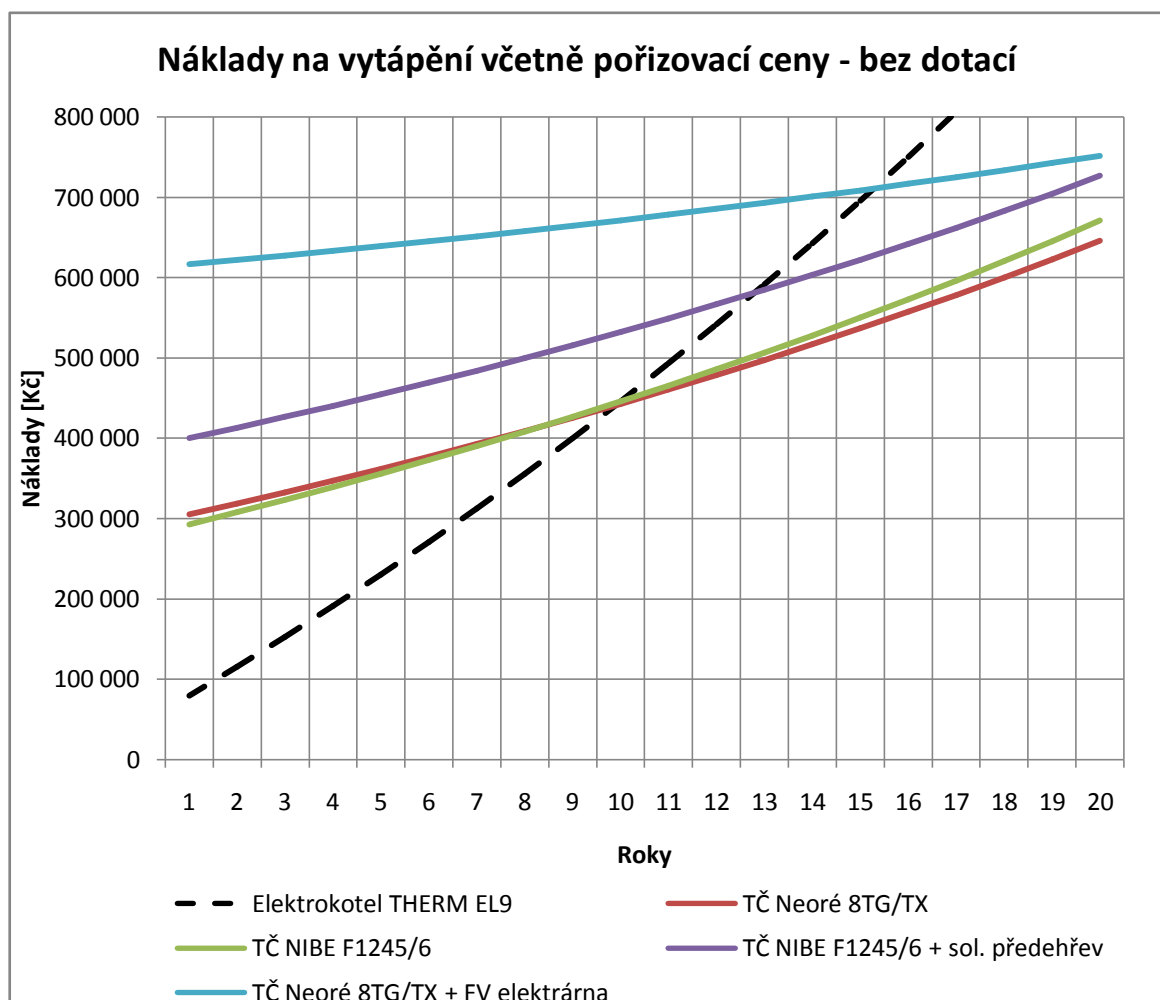
8.4 Ekonomické zhodnocení

V této podkapitole je popsáno ekonomické zhodnocení a návratnost pro všechny varianty vytápění v porovnání s již nainstalovaným elektrokotlem. Do ekonomického zhodnocení je zahrnuta pořizovací investice zdroje vytápění, cena za roční spotřebu elektrické energie daného zdroje, zohlednění dotačního programu a meziroční předpokládaný růst elektrické energie 3 %. Přehled pořizovacích nákladů a návratnosti je zobrazen v tabulce 8.4.

Tabulka 8.4 Ekonomické zhodnocení návrhů

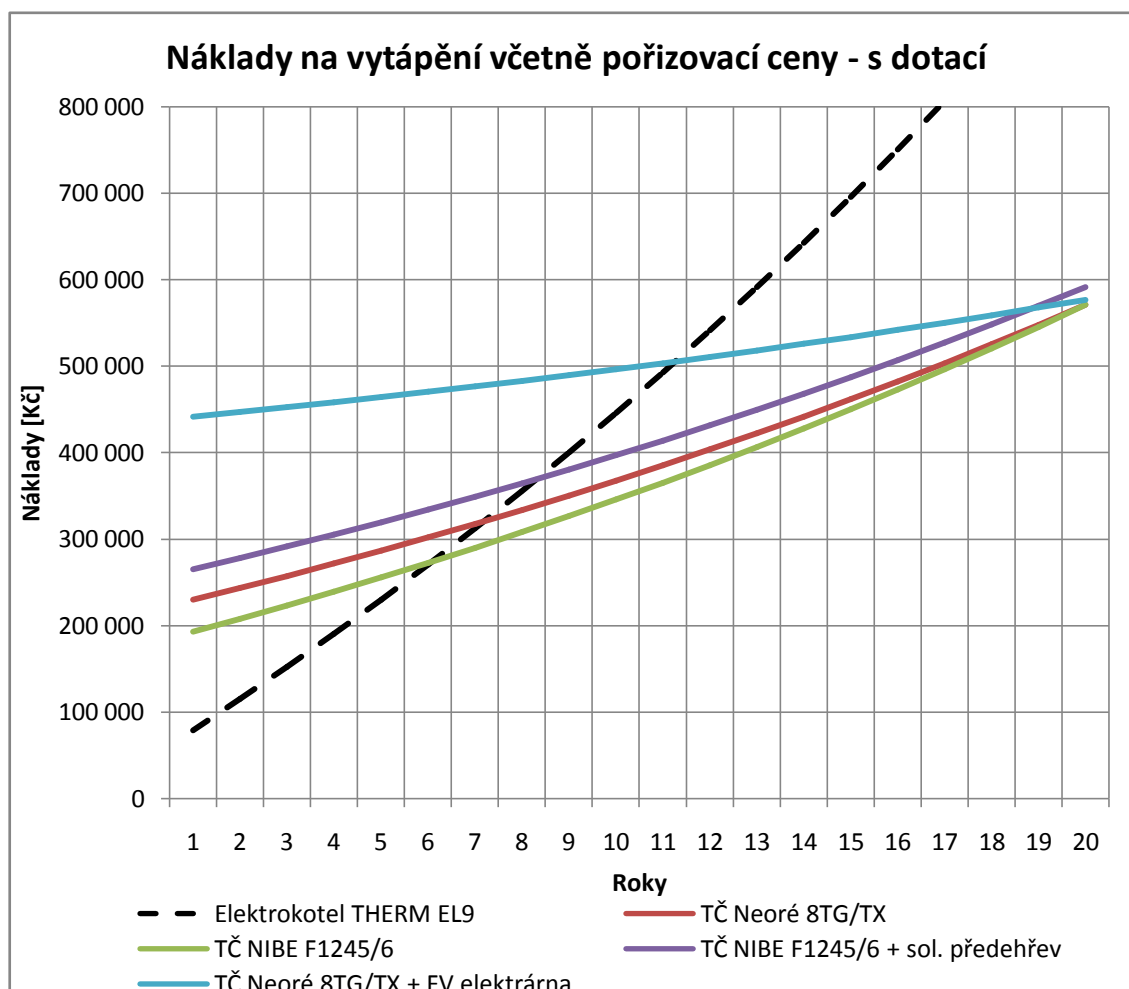
Ekonomická návratnost						
Název zdroje	Pořizovací náklady	Dotace	Pořizovací náklady s dotací	Meziroční růst elektřiny	Návratnost bez dotace	Návratnost s dotací
Elektrokotel THERM EL9 + zásobník TUV	44 159 Kč	-	44 159 Kč	3%	-	-
TČ vzduch/voda NEORÉ 8TG TX	291 825 Kč	75 000 Kč	216 825 Kč		9,4 roku	6,7 roku
TČ země/voda NIBE F1245/6	278 300 Kč	100 000 Kč	178 300 Kč		9,5 roku	5,5 roku
TČ země/voda NIBE F1245/6 + solární předehřev TUV	387 537 Kč	135 000 Kč	252 537 Kč		12,2 roku	7,8 roku
TČ vzduch/voda NEORÉ 8TG TX + FV elektrárna 3,54 kWp	611 703 Kč	175 000 Kč	436 703 Kč		14,8 roku	10,8 roku

Návratnost je vypočtena tak, že se k pořizovací částce zdroje vytápění přičtou roční náklady na elektřinu včetně očekávaného meziročního růstu 3 %. Tímto každoročním přičítáním dostaneme celkovou investici za pořízení zdroje vytápění včetně jeho nákladů. Tyto pořizovací ceny včetně nákladů se pak porovnají v časovém horizontu 20 let. Jakmile se náklady nového zdroje vytápění rovnají nákladům za stávající elektrokotel, tak odečteme dobu ekonomické návratnosti. Grafy nákladů na vytápění včetně pořizovací ceny jsou zobrazeny na obrázku 8.3 ve variantě bez dotací a na obrázku 8.4 ve variantě s dotacemi.



Obrázek 8.3 Náklady na vytápění včetně pořizovací ceny - bez dotací

Ve variantách bez čerpání dotací má nejlepší ekonomické zhodnocení TČ Neoré 8TG/TX, a to 9,4 roku. Obdobné ekonomické zhodnocení 9,5 roku má TČ NIBE F1245/6. Přidáním solárního předehřevu TUV k TČ NIBE F1245/6 se prodloužila ekonomická návratnost návrhu na 12,2 roku. Nejhorší návratnost 14,8 roku má poslední varianta TČ Neoré 8TG TX s nainstalovanou FV elektrárnou.



Obrázek 8.4 Náklady na vytápění včetně pořizovací ceny - s dotací

V případě čerpání dotací se u všech navrhovaných zdrojů vytápění zkrátí ekonomická návratnost. Nejlepší ekonomické zhodnocení 5,5 roku má TČ NIBE F1245/6. U tohoto návrhu se zkrátila návratnost o 4 roky díky vysoké dotaci 100 000 Kč a nízkým provozním nákladům. Na druhém místě má ekonomické zhodnocení 6,7 roků varianta TČ Neoré 8TG/TX. Třetí varianta TČ NIBE F1245/6 se solárním přehřevem TUV má zkrácenou návratnost na dobu 7,8 let. Nejhorší zhodnocení má opět poslední varianta TČ Neoré 8TGTX s FV elektrárnou, které je přibližně 10,8 roku.

Na základě ekonomického zhodnocení návrhů vytápění je v případě získané dotace zvoleno TČ NIBE F1245/6, které má nejkratší ekonomickou návratnost **5,5 roku** a nízké roční provozní náklady za provoz **14 619 Kč**.

V případě zamítnutí dotace je jako záložní varianta zvolena TČ Neoré 8TG/TX, která má ekonomickou návratnost **9,4 roku** a nízké roční náklady za provoz **13 178 Kč**.

9 ZÁVĚR

Hlavním cílem této diplomové práce je seznámit se s různými možnostmi vytápění rodinných domů a nahradit stávající vytápění v budově za ekologičtější a ekonomičtější variantu. Tato práce je tedy rozdělena do několika kapitol, které popisují problematiku zvolených druhů vytápění.

První kapitola se týká teorie tepelných čerpadel. Je zde uveden jejich základní princip. Jsou popsány i jeho základní prvky (výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní ventil). Nejdůležitějším parametrem tepelného čerpadla je topný faktor COP a sezonní topný faktor SCOP. Tyto parametry udávají energetickou efektivitu daného tepelného čerpadla, ta se vypočítá poměrem celkové výstupní energie čerpadla a energie pro jeho pohon. Všechny druhy tepelných čerpadel jsou podrobně popsány v jednotlivých kapitolách.

Druhá kapitola popisuje prvky, které mohou fungovat společně s tepelným čerpadlem. Prvním zmiňovaným systémem pro kooperaci s tepelným čerpadlem jsou solární kolektory. Ty patří mezi alternativní zdroje energie a přeměňují sluneční záření na teplo. Dalším uvažovaným systémem pro tuto práci jsou FV elektrárny. Fotovoltaické panely pro ohřev vody můžeme využít dvěma způsoby. První způsob je napojení přímo FV panelu na odporovou zátěž elektrického ohřívače v akumulární nádrži. Druhý způsob je zapojení FV panelů jako FV elektrárny, která napájí tepelné čerpadlo elektrickou energií.

Ve třetí kapitole začíná praktická část této práce, kde je popsán rodinný dům, který slouží pro návrh ekologického vytápění. Dům je postaven v obci, která je situována v části Brno – venkov v Jihomoravském kraji. Jedná se o jednopodlažní novostavbu, která má celkovou podlahovou plochu 87,62 m². V kapitole je také popsáno podrobné dispoziční a konstrukční řešení objektu. Jižní část střechy má sklon 22 ° a rozlohu 25,5 m², která je vhodná pro instalaci solárních kolektorů nebo FV panelů.

Čtvrtá část práce se týká výpočtu tepelných ztrát objektu. Před samotným výpočtem byly zjištěny klimatické údaje místa stavby, mezi které patří: výpočtová venkovní teplota -15 °C, průměrná teplota vzduchu v otopném období 4 °C a počet topných dnů 232 za rok. Tepelná ztráta je vypočítána na základě normy ČSN EN 12831 a všechny výpočty jsou provedeny v programu Excel. Pro každou místnost zvlášť je výpočtem stanovena tepelná ztráta prostupem a tepelná ztráta větráním. Tepelné ztráty prostupem pro celý objekt jsou **1,61 kW** a ztráty větráním jsou **1,98 kW**. Celková tepelná ztráta domu je **3,59 kW**.

V páté části práce je popsána koncepce současného stavu vytápění objektu. Systém vytápění je řešen pomocí ocelových deskových radiátorů s teplotním spádem 55°/45°C. Pro tento objekt je v současné době používán elektrokotel THERM EL9 s výkonem 9 kW, který slouží pro vytápění objektu a ohřevu TUV. K elektrokotli je připojen zásobník vody OKH 125 NTR/HV. Pořizovací náklady tohoto elektrokotle, zásobníku na vodu, ekvitermní regulace a montáže jsou **44 159 Kč**.

Šestá kapitola se zabývá návrhem alternativních zdrojů vytápění, ten nejvhodnější nahradí současný elektrokotel. První varianta vytápění je tepelné čerpadlo vzduch/voda NEORÉ 8TG TX s výkonem 8 kW. Jedná se o koncepci splitového zapojení, které má vnitřní a venkovní jednotku. Celkové pořizovací náklady jsou **291 825 Kč**. Jako

druhou variantou pro vytápění je tepelné čerpadlo země/voda NIBE F1245/6. Tato koncepce je tvořena z vnitřní jednotky, kde je umístěno veškeré příslušenství tepelného čerpadla, a zemního plošného kolektoru. Kolektor slouží jako zdroj tepla pro tepelné čerpadlo, zabírá plochu 10,3 m x 20 m a je umístěn 130 cm pod povrchem zahrady. Celková pořizovací cena včetně výkopových prací a plošného kolektoru je **278 300 Kč**. Pro třetí návrh je zvoleno stejné tepelné čerpadlo země/voda NIBE F1245/6, které je doplněno o solární předehřev vody. Pro solární ohřev TUV jsou použity dva solární kolektory **SOL 27 premium** umístěné na jižní části střechy domu se sklonem 22 °, solární zásobník **TUV OKC 300 NNTP** situovaný uvnitř budovy a solární regulace **SOKI 6**. Hlavní myšlenka této koncepce je ohřívat TUV ze solárních kolektorů v solárním zásobníku, tato ohřátá TUV pokračuje do zásobníku tepelného čerpadla. Tímto způsobem nemusí jednotka tepelného čerpadla ohřívat vodu a spotřebuje méně elektrické energie, samozřejmě jen v době, kdy svítí slunce a funguje solární předehřev. Pořizovací náklady samotného solárního předehřevu jsou 109 237 Kč. Celková cena pořízení tepelného čerpadla NIBE F1245/6 se solárním předehřevem TUV je **387 537 Kč**. Čtvrtou variantou návrhu je kombinace již navrhnutého tepelného čerpadla vzduch/voda NEORÉ 8 TG TX s hybridní FV elektrárnou o výkonu 3,54 kWp. Tato elektrárna je složena z dvanácti monokrystalických FV panelů Trian o výkonu 295 Wp, dvanácti výkonových optimizérů, jednofázového měniče Solar Edge 3000H a akumulátoru LG Chem s kapacitou 7 kWh. Tato FV elektrárna slouží primárně pro napájení tepelného čerpadla a dále jako záložní zdroj v případě výpadku proudu z distribuční sítě. Pořizovací cena FV elektrárny je 319 878 Kč. Celková cena tepelného čerpadla NEORÉ 8TG TX v kombinaci s FV elektrárnou je **611 703 Kč**.

V sedmé kapitole je popsáno energetické zhodnocení jednotlivých variant vytápění. V první řadě je vypočítána v simulačním programu NIBE roční spotřeba energie pro daný objekt. Pro vytápění je nutné dodat 6 722 kWh energie za rok a pro ohřev TUV 4 613 kWh/rok. Dohromady je potřeba pro objekt dodat **11 335 kWh/rok**. Pro každý návrh je na základě naměřených dat uvedena spotřeba elektrické energie. Současný elektrokotel má odběr **11 335 kWh/rok**. Tepelné čerpadlo Neoré 8TG TX má spotřebu **3 036 kWh** a sezonní topný faktor **SCOP 3,73**. Jednotka NIBE F1245/6 má roční spotřebu **3 586 kWh** a sezonní topný faktor **SCOP 3,16**. Po přidání solárního předehřevu k tepelnému čerpadlu NIBE F1245/6 klesla jeho roční spotřeba elektřiny o 760 kWh, tudíž je jeho roční spotřeba elektřiny **2 826 kWh**. Solární kolektory jsou schopny za rok přeměnit 2 711 kWh energie pro ohřev TUV. Fotovoltaická elektrárna přidaná k tepelnému čerpadlu NEORÉ 8TG TX je schopna vyrobit **3 523 kWh** elektrické energie. Zisk FV elektrárny je nasimulován v programu PVGIS. V tomto případě FV elektrárna dokáže pokrýt celoroční dodávku elektrické energie pro tepelné čerpadlo.

V poslední části práce je uvedeno ekonomické zhodnocení a návratnost jednotlivých návrhů vytápění v porovnání s již nainstalovaným elektrokotlem. Do ekonomického zhodnocení je zahrnuta pořizovací cena zdroje vytápění, cena za roční spotřebu elektřiny, zohlednění dotačního programu a předpokládané zdražení elektrické energie o 3 %. Nejkratší ekonomickou návratnost má v případě možnosti čerpání dotace 100 000 Kč tepelné čerpadlo země/voda NIBE F1245/6 a to pouhých **5,5 roku**. Nejhorší ekonomickou návratnost i v případě dotace 175 000 Kč má kombinace tepelného čerpadla NEORÉ 8TG TX v kombinaci FV elektrárny a to **10,8 roku**.

Na základě provedené studie je jako náhrada za stávající elektrokotel zvolena varianta tepelného čerpadla země/voda NIBE F1245/6. Tato varianta má návratnost pouhých **5,5 roku** a velmi nízké roční náklady za elektrickou energii **14 619 Kč**. V případě zamítnutí dotace je jako náhradní varianta zvoleno TČ vzduch/voda Neoré 8TG TX, které má bez využití dotačního programu návratnost **9,4 roku** a má nízké provozní náklady **13 178 Kč za rok**.

Kombinace solárních kolektorů nebo fotovoltaického systému k tepelnému čerpadlu nemá význam. V dnešní době je už velký pokrok v technologii tepelných čerpadel, a proto jsou samy o sobě ekonomicky i energeticky výhodné. Nejvíce je vytíženo tepelné čerpadlo v zimních měsících, kdy naopak solární kolektory a FV panely mají nejnižší zisk. Kombinace se vyplatí buď pro objekt s mnohonásobně vyšší tepelnou ztrátou, nebo pro horské oblasti, kde je například častý výpadek proudu z distribuční sítě.

LITERATURA

- [1] DŘÍMAL, Petr. Tepelná čerpadla, geotermální energie [online]. [cit. 2018-11-13]. ISBN 978-80-88058-05-2. Dostupné z: <https://publi.cz/books/93/02.html>
- [2] KARLÍK, Robert. Tepelné čerpadlo pro váš dům. Praha: Grada, 2009. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [3] TINTĚRA, Ladislav. Tepelná čerpadla. Praha: ARCH, 2003. ISBN 80-86165-61-2.
- [4] ŽERAVÍK, Antonín. Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]. Přerov: Antonín Žeravík, 2003. ISBN 80-239-0275-x.
- [5] *Jak funguje tepelné čerpadlo* [online]. [cit. 2018-11-07]. Dostupné z: <http://www.ekovy.cz/jak-funguje-tepelne-cerpadlo.htm>
- [6] TRETERA, R. Návrh tepelného čerpadla pro vytápění rodinného domu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 85 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Kristýna Jandová, Ph.D.
- [7] BUDÍN, Jan. Tepelná čerpadla – princip funkce a rozdělení [online]. 26. března 2015 [cit. 2018-11-09]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/teplarenstvi/tepelna-cerpadla/>
- [8] MATUŠKA, Tomáš. Základy tepelných čerpadel [online]. [cit. 2018-11-09]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P5-tepelna_cerpadla_zaklady.pdf
- [9] Představujeme tepelná čerpadla, 4. díl: Kompresor – srdce tepelného čerpadla [online]. [cit. 2018-11-10]. Dostupné z: <http://www.svet-bydleni.cz/predstavujeme-tepelna-cerpadla-4-dil-kompresor-srdce-tepelneho-cerpadla>
- [10] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Kompresor [online]. c2017 [citováno 10. 11. 2018]. Dostupný z WWW: <<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Kompresor&oldid=15394566>>
- [11] Princip tepelných výměníků [online]. [cit. 2018-11-13]. Dostupné z: <http://www.vymeniky-tepla.cz/princip/>
- [12] OTEVŘEL, Pavel. Jak z tepelného čerpadla vzduch-voda „dostanete“ maximum [online]. 2013 [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <https://www.bydleni.cz/clanek/Jak-z-tepelneho-cerpadla-vzduch-voda-8222-dostanete-8220-maximum>
- [13] RYŠKA, Jiří. Vrty do horninového masivu - zdroj energie pro tepelná čerpadla (II) [online]. 2006 [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/3634-vrty-do-horninoveho-masivu-zdroj-energie-pro-tepelna-cerpadla-ii>
- [14] MATUŠKA, Tomáš. Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel: COP a SCOP [online]. [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivty-tepelnych-cerpadel-cop-a-scop>
- [15] Tepelná čerpadla testy a srovnání [online]. [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/testy-a-srovnani>
- [16] Jak funguje tepelné čerpadlo [online]. [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: <https://www.ateg.cz/poradna/jak-funguje-tepelne-cerpadlo/>
- [17] MATUŠKA, Tomáš. Navrhování a bilancování tepelných čerpadel [online]. [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P6-tepelna_cerpadla_navrhovani_bilancovani.pdf

- [18] ENERGIE PROSTŘEDÍ, GEOTERMÁLNÍ ENERGIE, TEPELNÁ ČERPADLA. Ekowatt [online]. [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: <http://ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-prostredi-geotermalni-energie-tepelna-cerpadla>
- [19] Tepelné čerpadlo vzduch voda: Jak funguje tepelné čerpadlo země voda přímé vypařování?. Kodek [online]. [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: <http://www.kodek.cz/kategorie/vzduch-voda.aspx>
- [20] MATUŠKA, Tomáš. Nízkopotenciální zdroje tepla [online]. [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P7-tepelna_cerpadla_NPT.pdf
- [21] Typy tepelných čerpadel: Vzduch/voda - venkovní vzduch. IVT [online]. [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-vzduch-voda>
- [22] Tepelná čerpadla voda-voda. TOPHEAT [online]. [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: https://www.tepelna-cerpadla-gorenje.cz/vypis_menu/12-voda-voda-aquagor.html
- [23] Tepelné čerpadlo voda voda: Jak funguje tepelné čerpadlo voda voda?. KODEK [online]. [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <http://www.kodek.cz/kategorie/voda-voda.aspx>
- [24] Typy tepelných čerpadel: Voda/voda (studny). IVT [online]. [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-voda-voda-studny>
- [25] Tepelná čerpadla voda - voda. MASTER THERM [online]. [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <http://www.mastertherm.cz/tepelna-cerpadla-voda-voda>
- [26] Tepelná čerpadla. NWT [online]. [cit. 2018-11-21]. Dostupné z: <https://nwt.cz/vyroba-a-uspora-energie/vytapeni/tepelna-cerpadla/>
- [27] Tepelná čerpadla vzduch-vzduch. M-Klima [online]. [cit. 2018-11-22]. Dostupné z: <https://www.m-klima.cz/tepelna-cerpadla/tepelna-cerpadla-vzduch-vzduch/>
- [28] Typy tepelných čerpadel: Vzduch/vzduch. IVT [online]. [cit. 2018-11-22]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-vzduch-vzduch>
- [29] REKUPERACE TEPLA TEPELNÝMI ČERPADLY [online]. [cit. 2018-11-22]. Dostupné z: <https://www.gt-energy.cz/cz/rekuperace-tepla-tepelnymi-cerpadly>
- [30] Příklady zapojení tepelných čerpadel „země - voda“. PZP HEATING [online]. [cit. 2018-11-22]. Dostupné z: <https://www.pzpheating.cz/cs/m-108-priklady-zapojeni-tepelnych-cerpadel-zeme-voda/>
- [31] Plošný kolektor v Novém Jičíně. Multibeton [online]. [cit. 2018-11-22]. Dostupné z: <http://www.multibeton.cz/reference/cr/plosny-kolektor-v-novem-jicine>
- [32] Základní zásady návrhu plošného zemního kolektoru pro tepelné čerpadlo země/voda. Tzbinfo [online]. [cit. 2018-11-22]. Dostupné z: <https://vytapieni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/10178-zakladni-zasady-navrhu-plosneho-zemniho-kolektoru-pro-tepelne-cerpadlo-zeme-voda>
- [33] Typy tepelných čerpadel: Země/voda - plocha. IVT [online]. [cit. 2018-11-22]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda-plocha>
- [34] Typy tepelných čerpadel: Země/voda - vrt. IVT [online]. [cit. 2018-11-24]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda-vrt>
- [35] EcoPoint [online]. [cit. 2018-11-24]. Dostupné z: <https://www.ecopoint.sk>
- [36] Solární ohřev vody. Tzbinfo [online]. 12.8.2013 [cit. 2018-11-29]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/8526-solarni-ohrev-vody>

- [37] Princip solárního kolektoru. Čez [online]. [cit. 2018-11-29]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k21.htm>
- [38] Na jakém principu funguje sluneční kolektor. Viessmann [online]. [cit. 2018-11-29]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/solarni-kolektor-princip.html>
- [39] MATUŠKA, Tomáš. Solární Kolektory [online]. [cit. 2018-11-29]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P2-solarni_kolektory.pdf. ČVUT.
- [40] Solární vytápění kapalinové | Sluneční kolektory. Ekompex instalatéri [online]. [cit. 2018-11-29]. Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/solarni-vytapeni/kapalinove.php>
- [41] SVP Solar [online]. [cit. 2018-11-29]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/c/solarni-termika/solarni-kolektory/>
- [42] Solární kolektory. EnergySol [online]. [cit. 2018-11-29]. Dostupné z: <http://www.energysol.cz/solarni-systemy/solarni-kolektory>
- [43] NOVÁK, Jan. Vakuové kolektory [online]. [cit. 2018-12-02]. Dostupné z: <https://abecedazahrady.dama.cz/clanek/vakuove-kolektory>
- [44] MURTINGER, Karel. Tepelné čerpadlo a solární ohřev vody – dobrá synergie, ale zatím s technicko-ekonomickými problémy [online]. 2013 [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/tepelne-čerpadlo-a-solarni-ohrev-vody-dobra-synergie-ale-zatim-s-technicko-ekonomickymi-problemy.aspx>
- [45] POJAR, Petr. Proč kombinovat tepelné čerpadlo se solárními kolektory [online]. 2018 [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/proc-kombinovat-tepelne-čerpadlo-se-solarnimi-kolektory-25906.html>
- [46] HRÁDEK, Jiří a Luboš KOZEL. Spojení výhod kolektorů a tepelného čerpadla [online]. [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: <https://energie21.cz/spojeni-vyhod-kolektoru-a-tepelneho-čerpadla/>
- [47] VOBOŘIL, David. Fotovoltaické elektrárny – princip funkce a součásti, elektrárny v ČR. O energetice [online]. 2016 [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti/>
- [48] LIBRA, Martin a POULEK, Vladislav. Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. 1. vyd. Praha: ILSA, 2009. 160 s. ISBN 978-80-904311-0-2
- [49] MATUŠKA, Tomáš. Fotovoltaika - základy [online]. [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2018/04/AZE2-P6_FV_technologie.pdf. ČVUT.
- [50] Historie a perspektivy OZE - fotovoltaika, technologie krystalického křemíku. Tzbinfo [online]. 2009 [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5470-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-technologie-krystalickeho-kremiku>
- [51] KOSTKA, Tomáš. FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY: úvod do problematiky [online]. 2015 [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: http://www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna_eltech/ee/fvs_uvod.pdf. Střední škola Havířov-Šumbark.

- [52] FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY S AKUMULACÍ. *Sun Pi s.r.o.* [online]. [cit. 2018-12-09]. Dostupné z: <http://www.sunpi.cz/fotovoltacke-systemy/fotovoltacka-elektrarna-s-akumulaci/>
- [53] Vyplatí se kombinovat fotovoltaiiku s tepelným čerpadlem? [online]. 2017 [cit. 2018-12-09]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/?zpravy%2F2017052305%2Fvyplati-se-kombinovat-fotovoltaiiku-s-tepelnym-čerpadlem>
- [54] Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit. *Tzbinfo* [online]. [cit. 2018-12-11]. Dostupné z: <https://vytapieni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- [55] ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [56] Tepelná ztráta budovy a dimenzování otopné soustavy – výpočet [online]. 2017 [cit. 2018-12-11]. Dostupné z: <https://stavimbydlim.cz/tepelna-ztrata-budovy-a-dimenzovani-otopne-soustavy-vypocet/>
- [57] 11 otázek při výběru tepelného čerpadla: 4. Jaký výkon má mít mé tepelné čerpadlo? Jak jej vypočítám?. TC MACH [online]. [cit. 2018-12-11]. Dostupné z: <http://www.tepelna-čerpadla-mach.cz/tepelna-čerpadla-pro-rodinne-domy/vyber-tepelneho-čerpadla.php>
- [58] Obec Ohrozim [online]. [cit. 2018-12-11]. Dostupné z: <http://www.ohrozim.cz/>
- [59] ČSN EN 12 831. *Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu*. Český normalizační institut, 2005.
- [60] ČSN EN 73-0540-2. *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Český normalizační institut, 2011.
- [61] ČSN EN 73-0540-3. *Tepelná ochrana budov – Část 3: Výpočtové hodnoty veličin pro navrhování a ověřování*. Český normalizační institut, 2005.
- [62] ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody*. Český normalizační institut, 2005.
- [63] *Thermona* [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.thermona.cz/>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

TČ	tepelné čerpadlo
FV	fotovoltaické
COP	topný faktor
SCOP	sezónní topný faktor
TUV	teplá užitková voda
$\Phi_{T,i}$	tepelná ztráta prostupem tepla [W]
$\Phi_{V,i}$	tepelná ztráta větráním [W]
$\Phi_{RH,i}$	zátopový tepelný výkon potřebný pro vyrovnání účinků přerušovaného vytápění [W]; (pro tento nízkoenergetický dům – zanedbáno)
ρ	hustota vzduchu při teplotě $\theta_{int,i}$ [kg/m ³]
Ψ_I	činitel lineárního prostupu tepla (tabulka s přehledem hodnotu je uvedena v příloze práce) [W/m ² K]
$\theta_{int,i}$	výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru (i) [°C]
θ_u	výpočtová teplota nevytápěného prostoru [°C]
θ_e	výpočtová venkovní teplota [°C]
α_e	součinitel přestupu tepla na vnější straně [W/m ² K]
α_i	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně [W/m ² K]
δ_i	tloušťka jednotlivých vrstev konstrukce [m]
λ_i	součinitel tepelné vodivosti [W/mK]
ε_i	výškový korekční činitel, který zohledňuje zvýšení rychlosti proudění vzduchu s výškou prostoru nad povrchem země [-]
A_g	plocha uvažované podlahové konstrukce (plocha půdorysu objektu) [m ²]
A_i	podlahová plocha vytápěného prostoru [m ²]
A_k	plocha stavební částí dotýkající se zeminy [m ²]
b_u	teplotní redukční činitel zahrnující teplotní rozdíl mezi teplotou nevytápěného prostoru a venkovní návrhovou teplotou [-]
C_p	měrná tepelná kapacita vzduchu při teplotě $\theta_{int,i}$ [kJ/Kg.K]
e_k, e_l	korekční činitel vystavení povětrnostním vlivům a podmínkám při zahrnutí oslunění objektu, pohlcování vlhkosti stavbou, rychlosti větru a teploty [-]

e_i	stínící činitel [-]
$f_{i,j}$	redukční teplotní činitel, který koriguje teplotní rozdíl mezi teplotou sousední místnosti a venkovní výpočtovou teplotou
f_{g1}	korekční činitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty [-]
f_{g2}	teplotní redukční činitel, který zohledňuje rozdíl mezi roční průměrnou teplotou a výpočtovou venkovní teplotou
f_{RH}	zátopový součinitel, který závisí na druhu budovy, stavební konstrukci, době zátoku a poklesu teploty uvnitř místnosti v době útlumu vytápění [W/m ²]
G_w	korekční činitel, který zohledňuje vliv spodní vody. Tento vliv můžeme zanedbat, pokud je hladina spodní vody více jak 1 m pod úroveň podlahy podzemního podlaží [-]
$H_{V,i}$	součinitel návrhové tepelné ztráty větráním [W/K]
$H_{T,ie}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) pláštěm budovy [W/K]
$H_{T,iue}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) nevytápěným prostorem (u) [W/K]
$H_{T,ig}$	součinitel tepelné ztráty prostupem do zeminy z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) v ustáleném stavu [W/K]
$H_{T,ij}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedního prostoru (j) vytápěného na výrazně jinou teplotu, například sousedící místnost uvnitř funkční části budovy nebo vytápěný prostor sousední funkční části budovy [W/K]
I_l	délka lineárních tepelných mostů mezi vnitřním (i) a venkovním (e) prostředím [m]
n_{50}	intenzita výměny vzduchu za hodinu při rozdílu tlaků 50 Pa mezi vnitřkem a venkem budovy, která zahrnuje účinky přívodů vzduchu [m ³ /s]
n_{min}	minimální intenzita výměny venkovního vzduchu [h ⁻¹]
P	obvod uvažované podlahové konstrukce (obvod půdorysu objektu) [m ²]
$Q_{p,c}$	energie potřebná pro ohřev TUV celého objektu za celý rok
$Q_{ku,měs}$	celková získaná energie ze solárních kolektorů
$Q_{ss,měs}$	reálně využitá energie ze solárních kolektorů
R	celkový tepelný odpor konstrukce při přestupu tepla [m ² K/W];
R_{se}	tepelný odpor při přestupu na vnější straně konstrukce [m ² K/W];
R_{si}	tepelný odpor při přestupu na vnitřní straně konstrukce [m ² K/W];
R_i	tepelný odpor jednotlivých vrstev konstrukce [m ² K/W];
$U_{equiv,k}$	ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební částí [W/m ² K];

U_k	součinitel prostupu tepla [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
V_i	výměna vzduchu ve vytápěném prostoru [m^3/s]
V_i	objem vytápěné místnosti [m^3];